

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE MULTIPROPÓSITO PARA LÍNEAS DE ENSAMBLAJE AERONÁUTICO

JESSICA ALEJANDRA CATAÑO DIEZ

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA**



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PEREIRA, noviembre 30 de 2017

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE MULTIPROPÓSITO PARA LÍNEAS DE ENSAMBLAJE AERONÁUTICO

JESSICA ALEJANDRA CATAÑO DIEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERA MECÁNICA**

Director: Carlos Andrés Mesa Montoya
Ingeniero Mecánico
caanmesa@utp.edu.co

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**
Pereira, noviembre 30 de 2017

Dedicatoria

A mi madre Sandra Marieth Diez Villada por demostrarme que todo en la vida se puede conseguir con esfuerzo y dedicación. A mi abuela Alicia Villada y a mi tía Ovidia Villada que me educaron con buenos sentimientos, hábitos, valores, y con mucho amor. Todo lo que soy se lo debo a estas maravillosas mujeres.

A mis hermanas, mis tías y tíos por toda la confianza, el apoyo y amor incondicional que me han demostrado, son parte fundamental en mi vida. También a mi padre por su amor, siempre lo llevo en mi corazón y en mi mente.

A mi esposo Sneider Estrada por ser mi apoyo, por permanecer en mi vida y compartir momentos maravillosos, por brindarme su amor y amistad y su valiosa colaboración en el transcurso de este proyecto.

JESSICA ALEJANDRA CATAÑO DIEZ

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente con sabiduría y entendimiento para culminar esta etapa de mi vida.

Al Ingeniero Carlos Andrés Mesa agradezco por su ayuda desinteresada y apoyo incondicional, también por la consecución y elaboración de este proyecto.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Por último, agradecer a la Universidad tecnológica de Pereira por haber sido mi hogar y haberme dado la formación personal y técnica necesaria para enfrentar nuevos retos que se aproximan.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Planteamiento y formulación del problema	9
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3. OBJETIVOS	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO	10
CAPÍTULO 2.....	12
CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES	12
2.1. INTRODUCCIÓN.....	12
2.2. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	12
2.2.1. Robots industriales	12
2.2.2. Motor Turbofan.....	16
2.2.3. Nariz del avión	17
2.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE TRABAJO EN LA PLANTA.....	20
CAPÍTULO 3.....	23
ESPECIFICACIONES OBJETIVO PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE.....	23
3.1. INTRODUCCIÓN.....	23
3.2. LISTA DE MÉTRICAS	23
3.3. MATRIZ DE NECESIDADES-MÉTRICAS.....	26
3.4. VIGILANCIA ESTRATÉGICA.....	26
3.4.1 Captación y análisis del entorno.....	27
3.4.2 Prospectiva	29
3.5. VALORES OBJETIVO IDEAL Y MARGINALMENTE ACEPTABLE	30
CAPÍTULO 4.....	31
GENERACIÓN DE DISEÑOS CONCEPTUALES	31
4.1. INTRODUCCIÓN.....	31
4.2. MÉTODO DE CINCO PASOS	31
4.2.1 Aclaración del problema	32
4.2.1.1 Descomposición funcional	33

4.2.2	Búsqueda externa de posibles soluciones.....	35
4.2.3	Búsqueda interna de posibles soluciones.....	36
4.2.4	Explorar sistemáticamente	37
4.2.4.1	Árbol de clasificación	37
4.2.4.2	Tabla de combinación de conceptos.....	39
4.2.5	Generación de conceptos.....	42
CAPÍTULO 5.....		44
SELECCIÓN DEL CONCEPTO		44
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	44
5.2.	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL CONCEPTO	44
5.3	FILTRADO DE CONCEPTOS.....	45
5.3.1	Matriz de selección.....	45
5.3.2	Evaluar los conceptos	47
5.3.3	Ordenar los conceptos	48
5.3.4	Combinar y mejorar los conceptos	49
5.3.5	Selección de uno o más conceptos	49
5.3.5.1	Motor	50
5.3.5.2	Estructura	51
5.3.5.3	Ruedas mecanum.....	52
5.3.5.4	Sistema de elevación.....	54
5.3.5.5	Módulos para el transporte de componentes	54
CAPÍTULO 6		57
CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES		57
6.1.	CONCLUSIONES.....	57
6.2.	APORTES	58
6.3.	RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS		60
ANEXOS		64

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Definiciones para robot industrial.	13
Tabla 2.2. Información característica de manipuladores a transportar en el STT..	14
Tabla 2.3. Alcance de movimiento o límite de espacio de trabajo del manipulador.	15
Tabla 2.4. Especificaciones Técnicas para los manipuladores.	15
Tabla 2.5. Datos técnicos del motor turbofan PW306C.....	17
Tabla 2.6. Características técnicas de la nariz del avión.....	19
Tabla 3.1. Necesidades de la línea de ensamble para el STT y su importancia relativa.....	24
Tabla 3.2. Lista de métricas para el STT. La importancia relativa de cada métrica y las unidades correspondientes	25
Tabla 3.3. Observación y análisis del entorno tecnológico.....	27
Tabla 3.4. Análisis de tendencias con respecto al STT.....	29
Tabla 3.5. Valores para definir especificaciones objetivo para el STT.	30
Tabla 4.1. Especificaciones objetivo preliminares del STT.....	33
Tabla 5.1. Matriz de selección	48
Tabla 5.2. Especificaciones del Motor LENZE g700.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Motor turbofan PW308C	16
Figura 2.2. Dassault Falcon 2000S.....	16
Figura 2.3. Motor turbofan PW308C (medidas en mm)	17
Figura 2.4. Modelo cad de la Nariz del Dassault Falcon 2000S	18
Figura 2.5. Estación de trabajo, montaje de radar y motor turbofan al avión.....	18
Figura 2.6. Vistas principales de la nariz del avión (medidas en mm).	19
Figura 2.7. Diseño de planta con disposición inicial.	20
Figura 2.8. Nueva disposición de planta.	21
Figura 2.9. Dimensiones para vehículo destinado al transporte de mercancía (medidas en mm).....	22
Figura 2.10. Recorrido preliminar reservado para el STT (medidas en mm).	22
Figura 4.1. Diagrama funcional del STT que surge de una descomposición funcional (caja negra)	34
Figura 4.2. Diagrama funcional que muestra subfunciones.....	34
Figura 4.3. Plataforma móvil para cargas pesadas KUKA.....	35
Figura 4.4. Plataforma de trabajo levadiza móvil KMP Triple Lift	35
Figura 4.5. Nueva descomposición del subproblema que supone la traslación y la elevación de componentes aeronáuticos	37
Figura 4.6. Árboles de clasificación	38
Figura 4.7. Tabla de combinación de conceptos para el STT	40
Figura 4.8. Posible combinación de conceptos para el STT.....	41
Figura 4.9. Primer concepto para el STT	42
Figura 4.10. Segundo concepto para el STT	43
Figura 4.11. Tercer concepto para el STT	43
Figura 5.1 Configuración de ruedas laterales.....	46
Figura 5.2 Configuración de ruedas centrales.....	46
Figura 5.3 Configuración triangular	47
Figura 5.4. Vista superior de la configuración de ruedas laterales (medidas en mm)	50
Figura 5.5. Modelo cad y disposición del motor LENZE g700	51
Figura 5.6. Bastidor tipo H	52
Figura 5.7. Distribuciones de los sistemas operacionales en el STT.....	52
Figura 5.8. Modelo cad de las ruedas mecanum	53
Figura 5.9. Movimiento del STT con las ruedas mecanum.....	53
Figura 5.10. Planos de las perforaciones en los módulos	54
Figura 5.11 Base metálica para el acople entre el STT y los diferentes módulos..	55
Figura 5.12 Módulo para el transporte del turbofan.	56
Figura 5.13 Módulo para el transporte de la nariz.....	56

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería Mecánica con el apoyo del grupo de investigación en Procesos de Manufactura y Diseño de Maquina, en conjunto con la Universidad de Lorraine y la Escuela Nacional de Ingenieros ENIM (ambas con sede en Francia) se encuentra trabajando en el proyecto colaborativo interinstitucional llamado Factory Futures: “la industria del futuro en el campo aeronáutico”, el cual busca proponer diferentes alternativas a las líneas de fabricación aeronáuticas existentes, que garanticen procesos de fabricación fluidos y flexibles. Concerniente a la línea de ensamble aeronáutico, los motores tipo turbofan son uno de los dispositivos que mayor cuidado demanda durante su transporte y acoplamiento final en la estructura del avión. Hoy en día, se utilizan sistemas de transporte aéreo con estructuras fijas y trayectorias de movimientos permanentes, que cumplen con requerimientos físicos y de integridad estructural, pero generan dificultades cuando se requiera cambios significativos en la línea de producción, necesitando cambiar todo el sistema de transporte y adaptarse a la nueva distribución de las estaciones de trabajo.

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, los sistemas de transporte terrestres que se encuentran en la industria, presentan una serie de inconvenientes, tales como la gran variedad de alternativas para el transporte de los diferentes elementos aeronáuticos, la falta de adaptación en las diferentes estaciones de trabajo y su funcionamiento con dispositivos de tracción externa, los cuales interfieren en la operación de las estaciones de trabajo alejadas poniendo en riesgo el ambiente seguro. Por tal motivo, es necesario estudiar las metodologías asociadas al diseño conceptual, con el propósito de plantear diferentes alternativas de solución para el sistema transporte terrestre, que ayuden a mejorar los inconvenientes presentes en este tipo de estructuras y que cumplan con las necesidades de la línea de ensamble.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto busca acoplar las metodologías disponibles para la conceptualización del diseño de un sistema de transporte terrestre multipropósito, con el objeto de generar diferentes alternativas que satisfagan los requerimientos de fiabilidad, flexibilidad, adaptación a la distribución de planta permitiendo que está sea más dinámica. De la misma forma, se logrará integrar diferentes sistemas de transporte existentes en un solo módulo, cumpliendo con las prestaciones requeridas en el sistema. El diseño conceptual es la plataforma base para el diseño de detalle y de

los diferentes módulos que se puedan considerar posteriormente en etapas futuras del desarrollo del sistema de transporte terrestre.

El proyecto Factory Futures persigue un objetivo común, que involucra diferentes áreas del conocimiento de una manera sincronizada y concurrente, que permite la participación y aporte constructivo de todos y cada de las diferentes universidades participantes. El diseño del sistema terrestre comprende un conjunto de actividades en múltiples campos del conocimiento, entre ellos la mecánica y la electrónica particularmente el diseño mecánico y la robótica, ambas con un enfoque de trabajo colaborativo. Esta diversidad de campos y áreas del conocimiento, integradas en torno a un proyecto interinstitucional, puede interesar a muchos actores para que cooperen en un ambiente interdisciplinario. En la ejecución del proyecto se considera la vinculación de siete estudiantes para la realización de trabajos de grado en la generación de prototipos virtuales originales de los mecanismos y sistemas del sistema de transporte terrestre, en las varias fases de concepción, modelado, simulación y prototipado virtual.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar conceptualmente un sistema de transporte terrestre multipropósito que se adapte a los procedimientos de ensamble en el sector aeronáutico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los elementos a transportar teniendo en cuenta propiedades dimensionales y físicas para identificar los requerimientos y la configuración del sistema de transporte terrestre.
- Definir las especificaciones objetivo para determinar las propiedades técnicas del sistema de transporte de acuerdo al diseño de planta en la línea de ensamble.
- Crear modelos conceptuales con el fin de proponer alternativas viables para el sistema de transporte.
- Seleccionar la alternativa que permita obtener la configuración más adecuada según los requerimientos en la línea de ensamble.

1.4. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO

En el capítulo 2, se presentarán los diferentes componentes que se requieren transportar a lo largo de las estaciones de trabajo de la planta para su respectiva instalación. Inicialmente, se muestran propiedades técnicas y dimensionales de los diferentes elementos. En la segunda parte se abarcará el diseño de planta y dimensionamiento de las vías de circulación del sistema de transporte terrestre. Con esto se da cumplimiento al objetivo específico número uno.

El capítulo 3 ilustra los procedimientos desarrollados para determinar las necesidades de la línea de ensamble, con el objetivo de establecer las métricas con los que se trabajará durante el proceso de diseño del sistema de transporte terrestre. Además, se realizará un proceso de vigilancia estratégica que permitirá definir las métricas basado en la información recopilada. Lo anterior permite definir las características técnicas que dan cumplimiento a lo establecido en el objetivo número dos.

Durante el capítulo 4, se generarán los diseños conceptuales basados en las necesidades de la línea de ensamble. Se propone una descripción breve de las características del producto para el sistema de transporte terrestre. Por otro lado se originarán diferentes alternativas y se evaluarán las opciones, utilizando un método de cinco pasos que consistirá en descomponer el problema principal en subproblemas más sencillos, incorporando soluciones parciales entregadas por cada miembro del equipo de diseño. Lo hecho en este apartado, genera los diseños conceptuales que satisfacen el objetivo específico número tres.

A partir del capítulo 5, se enfocará en determinar y evaluar el conjunto de diseños del sistema de transporte terrestre con el propósito de seleccionar el más adecuado y que cumpla con los requerimientos de la línea de ensamble. Los resultados obtenidos en este capítulo son el producto de las actividades desarrolladas para cumplir con el objetivo número cuatro.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se exponen los conceptos teóricos, la información característica y dimensional de los componentes a transportar, con esta información se definen los parámetros para el diseño conceptual del sistema de transporte terrestre (stt). Adicionalmente, se describe la distribución de planta propuesta por el equipo encargado dentro del proyecto colaborativo factory futures.

2.2. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

En esta sección se presentan los componentes a transportar con sus propiedades dimensionales, información técnica y una breve descripción de cada uno de los componentes. En el stt se podrá transportar lo siguiente: a) dos robots industriales el IRB 1400 y el IRB 2400, b) motor turbofan *Pratt & Whitney* (pw308c) y c) nariz del avión Dassault falcon 2000s.

2.2.1. Robots industriales

En la Tabla 2.1 están contenidas las definiciones más reconocidas de robot industrial, allí se observará que estas descripciones tienen en común la aceptación de robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y la incorporación de un control más o menos complejo. Sin embargo, la definición de la RIA ha sido la más adoptada por los expertos en el tema [1], por tal motivo se habla de manipulador cuando se hace referencia al IRB 1400 o al IRB 2400.

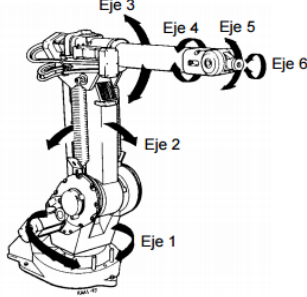
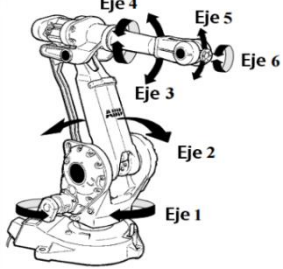
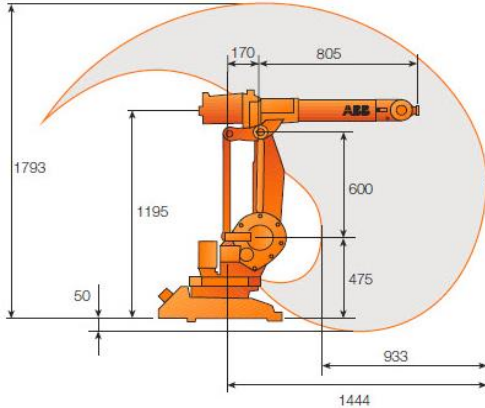
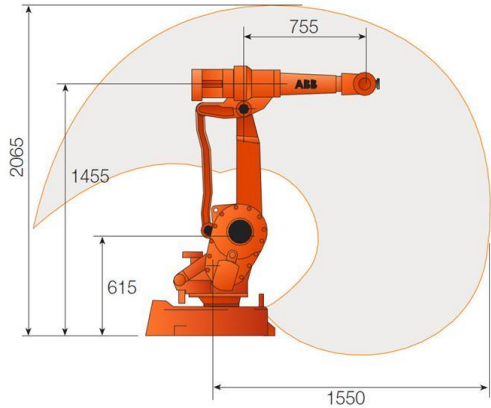
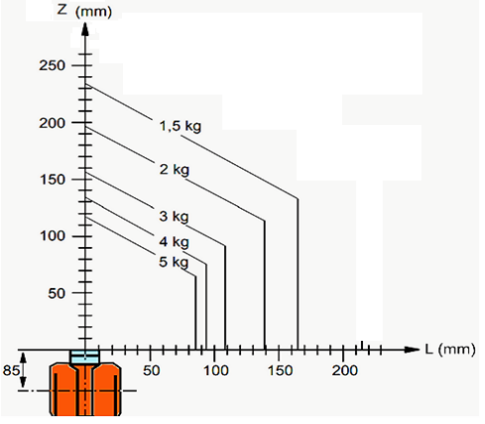
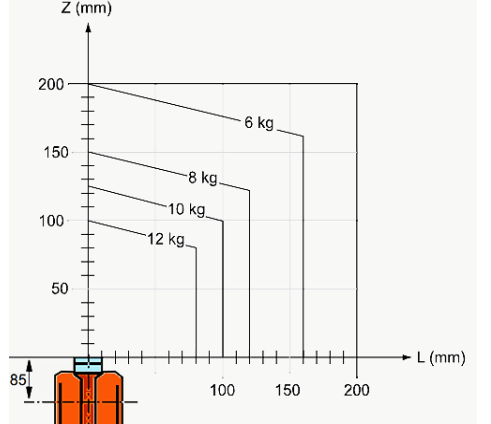
Tabla 0.1. Definiciones para robot industrial

ENTIDAD	DESCRIPCIÓN
Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Association)	Manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.
Organización Internacional de Estándares (ISO)	Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.
Asociación Francesa de Normalización (AFNOR)	<p>Define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot.</p> <p>Manipulador: Mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.</p> <p>Robot: Manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.</p>
Federación Internacional de Robótica (IFR, <i>International Federation of Robotics</i>)	Por robot industrial de manipulación se entiende una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento.

Adaptado de: [1]

En las Tablas 2.2 y 2.3 se describe el funcionamiento de cada manipulador en cuanto a: a) diagramas estructurales y de dimensiones, b) diagramas de carga, movimiento y c) alcance del robot.

Tabla 0.2. Información característica de manipuladores a transportar en el STT

		MANIPULADOR	
		IRB 1400	IRB 2400
Características	Movimiento		
	Dimensiones		
	Diagramas de carga		
	Aplicaciones	Rápido, fiable con alcance suficiente para la mayoría de las aplicaciones de soldadura por arco, manipulación de piezas pequeñas y aplicaciones de proceso.	Fiable, robusto con excelente rendimiento en aplicaciones de manipulación de materiales, alimentación de máquinas y aplicaciones de proceso.

Adaptado de: [2] y [3]

- Movimiento: flexibilidad y numeración de ejes destinados a guiar el movimiento de cada una de las partes que conforman los robots.
- Dimensiones: alcance de movimiento y medidas necesarias para definir el tamaño del robot.
- Diagramas de carga: peso máximo permitido para una herramienta montada sobre la brida de montaje en distintas posiciones (centro de gravedad) del robot.
- Aplicaciones: usos industriales para los que fueron diseñados los robots.

Tabla 0.3. Alcance de movimiento o límite de espacio de trabajo del manipulador

N° eje	Tipo de movimiento	Movimiento angular		Velocidad de los ejes (°/s)	
		IRB 1400	IRB 2400	IRB 1400	IRB 2400
1	Movimiento de rotación	170° a -170°	180° a -180°	120	150
2	Movimiento de brazo	70° a -70°	110° a -100°	120	150
3	Movimiento de brazo	70° a -65°	65° a -60°	120	150
4	Movimiento de muñeca	150° a -150°	185° a -185°	280	360
5	Movimiento de doblado	115° a -115°	115° a -115°	280	360
6	Movimiento de giro	300° a -300°	400° a -400°	280	450

Adaptado de: [2] y [3]

En la Tabla 2.4 se presenta la información característica de los manipuladores obtenidas de los catálogos y que se tendrá en cuenta para el diseño de STT.

Tabla 0.4. Especificaciones Técnicas para los manipuladores.

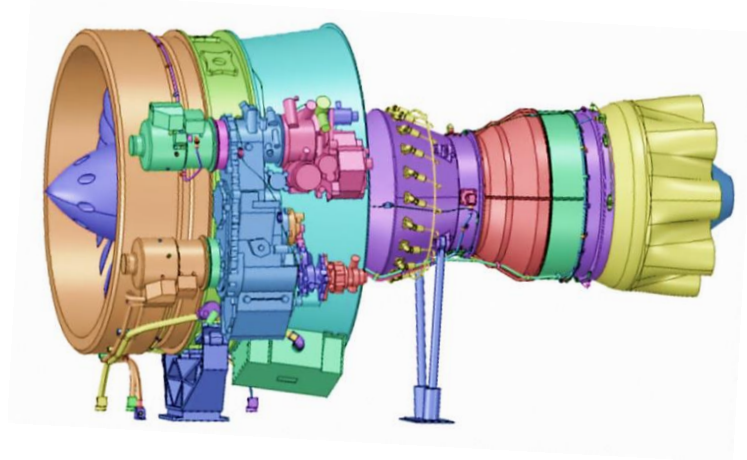
Manipulador	Peso [kg]	Capacidad de carga [kg]	Alcance [m]	Frecuencia [Hz]	Potencia Nominal [kVA]	Consumo de potencia [kW]
IRB 2400	380	De 10 a 20 (Con limitaciones)	1,55	48,5 a 61,8	4,5 – 14,4	0,61 -0,67
IRB 1400	225	5	Máximo 1,44	60	4 – 7,8	0,34 – 0,44

Adaptado de: [2] y [3]

2.2.2. Motor Turbofan

El motor turbofan que se transportará en el STT pertenece a la serie Pratt & Whitney Canadá PW300, siendo este un motor de reacción que se emplea tanto en aviación comercial como militar. Los motores PW300 incorporan las últimas tecnologías avanzadas en la unidad para superar las expectativas en cuanto a rendimiento, fiabilidad, durabilidad, consumo de combustible y respeto por el medio ambiente. Además, tiene una gran entrega de empuje, permitiendo el desarrollo de aviones con capacidad de carga elevada [8].

Figura 0.1. Motor turbofan PW308C



Fuente: [4]

Figura 0.2. Dassault Falcon 2000S.

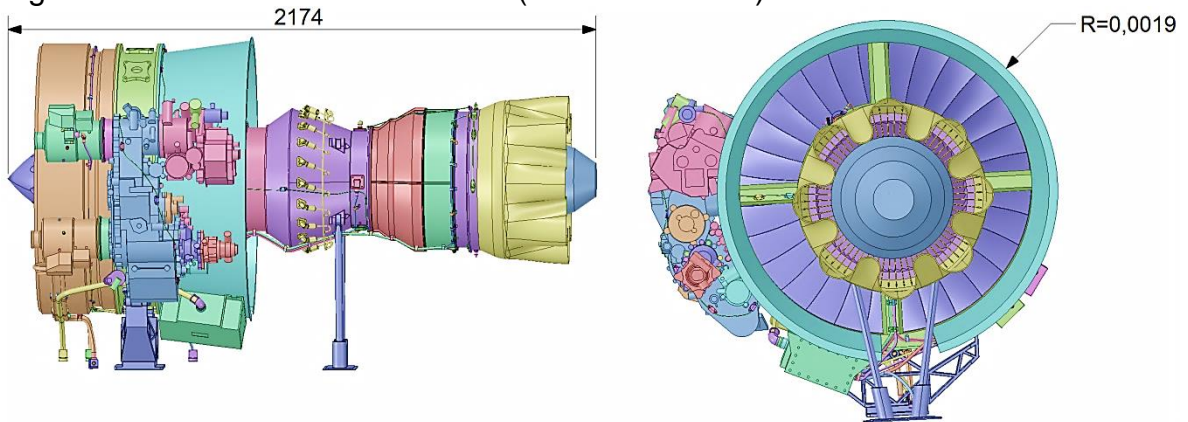


Fuente: [5]

- Características técnicas

En la Figura 2.3 se presentan vistas y dimensiones del turbofan. También se pueden consultar las características técnicas del motor turbofan proporcionadas por el fabricante en la Tabla 2.5.

Figura 0.3. Motor turbofan PW308C (medidas en mm)



Fuente: [4]

Tabla 0.5. Datos técnicos del motor turbofan PW306C.

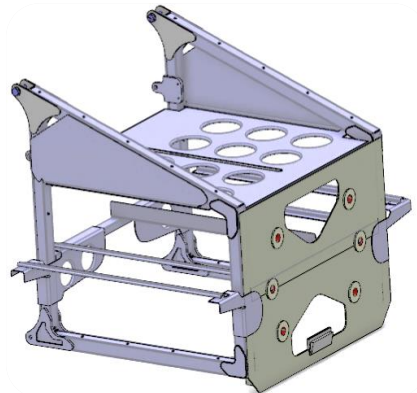
PW308C	
Longitud Total [m]	2,174
Diámetro total [m]	1,900
Peso [kg]	623,5
Centro de gravedad (peso seco)	
Adelante del plano de montaje, cm (pulg)	-42,3 (-16,6)
Debajo de la línea central del motor, cm (pulg)	5,9 (2,3)
Derecha de la línea central del motor, cm (pulg)	-0,8 (-0,3)

Fuente: [4]

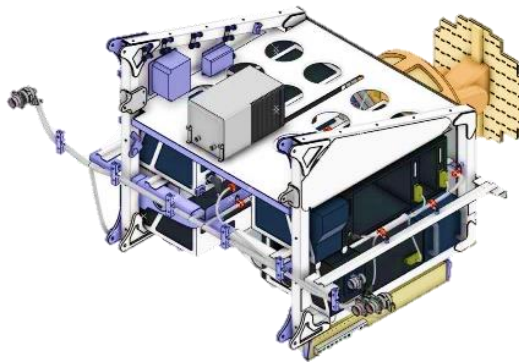
2.2.3. Nariz del avión

La nariz es un elemento que se encuentra en el extremo delantero del avión, se guarda dentro del fuselaje para evitar resistencia al avance y lograr un buen centrado en el momento de despegar y descender el aterrizaje del tren de aterrizaje. En la Figura 2-4 se puede apreciar el modelo CAD de la nariz que forma parte del Dassault Falcon 2000S.

Figura 0.4. Modelo cad de la Nariz del Dassault Falcon 2000S



a) nariz del Falcon 2000S

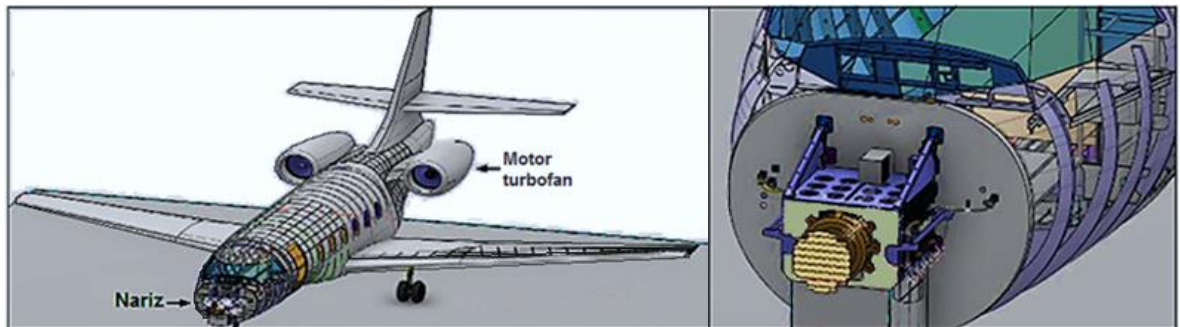


b) nariz con radar instalado

Fuente: [4]

A continuación se observa el montaje de la nariz con el radar y la instalación de los motores en la parte trasera del avión.

Figura 0.5. Estación de trabajo, montaje de radar y motor turbofan al avión.



a) Dassault Falcon 2000S

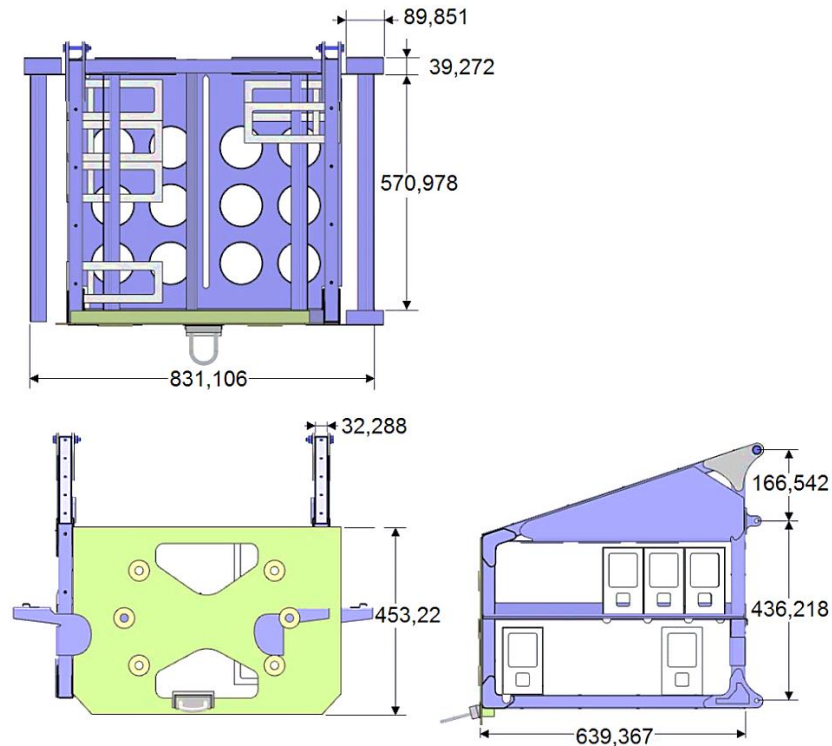
b) Ensamble del avión, con montaje de nariz y radar

Fuente: [4]

- Especificaciones técnicas

En la Figura 2.6 se observa la estructura de la nariz y en la Tabla 2.6 se definen algunas propiedades físicas y dimensionales que se utilizarán en el diseño del STT.

Figura 0.6. Vistas principales de la nariz del avión (medidas en mm).



Fuente: [4]

Tabla 0.6. Características técnicas de la nariz del avión.

Nariz del avión	
Peso [kg]	722,673
Ancho máximo [m]	0,87
Altura máxima [m]	0,63
Profundidad máxima [m]	0,64

Fuente: [4]

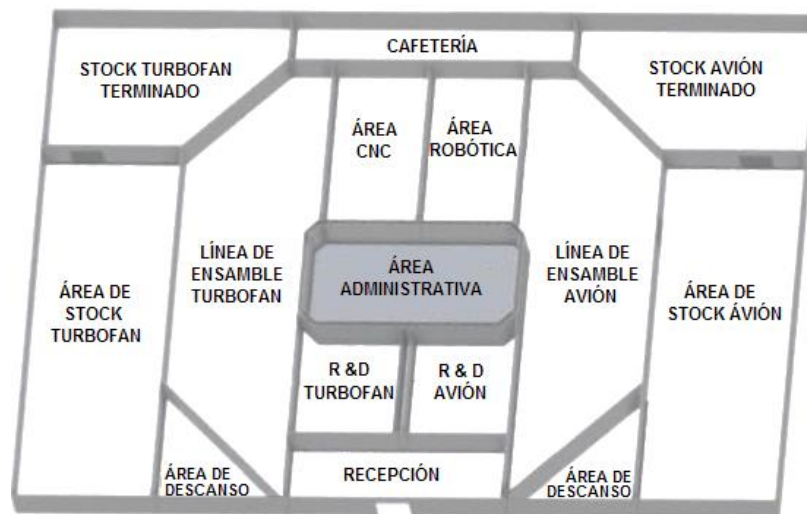
2.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE TRABAJO EN LA PLANTA

En esta sección se tiene el resumen de la distribución de planta final que fue diseñada por el equipo encargado. [6]

La planificación del diseño busca aprovechar área disponible de la mejor forma, puesto que con una disposición ideal se eliminan retrasos por escasez de espacio, largas distancias por materiales, trabajos deteriorados y contribuye a la rápida ejecución de procesos productivos permitiendo cumplir con su objeto social y con un mejor posicionamiento en el mercado.

Luego de analizar la disposición inicial con la que se cuenta, se ve la necesidad de obtener un nuevo diseño ya que se generan retrasos por la distribución de espacio y se pierde tiempo en el transporte de componentes aeronáuticos [9]. En el nuevo diseño se tuvo en cuenta aspectos tales como el desplazamiento de los trabajadores por herramientas, materiales y la distribución más óptima del área de trabajo. Además, del recorrido de los productos a ensamblar: a) Dassault Falcon 2000S y b) motor turbofan PW308C.

Figura 0.7. Diseño de planta con disposición inicial.



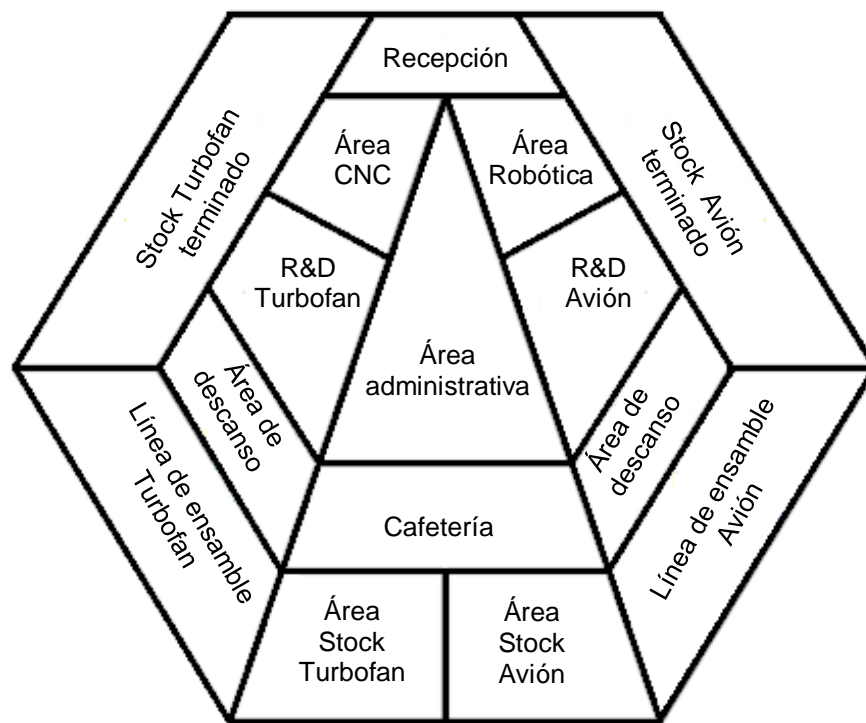
Adaptado de: [6]

De la disposición inicial se concluye lo siguiente: las zonas R&D turbofan y R&D avión podrían estar en el segundo piso para tener una mejor visión del flujo del proceso, así se tiene la capacidad de mejorar constantemente e identificar cualquier tipo de problemas. Las áreas de descanso y la cafetería deben estar cerca el uno del otro para reducir el tiempo de traslado de los trabajadores, puesto que así se aprovecha mejor el tiempo de alimentación y descanso. Ambas áreas de stock,

deben estar en el mismo lugar con el fin de disminuir los tiempos de abastecimiento de las materias primas.

La nueva disposición tendrá una forma hexagonal y está diseñada para disminuir: a) costo por unidad del producto, b) tiempo en proceso y c) material. El área de suministro de material de ambos productos va a estar en la parte inferior del diseño, están cerca unos de otros para facilitar el proceso logístico de la fábrica, minimizar los tiempos de viaje de los trabajadores y maquinaria. Además, el acceso al área administrativa no es necesario para cruzar todas las zonas de trabajo y su posición es central en el diseño. [6]

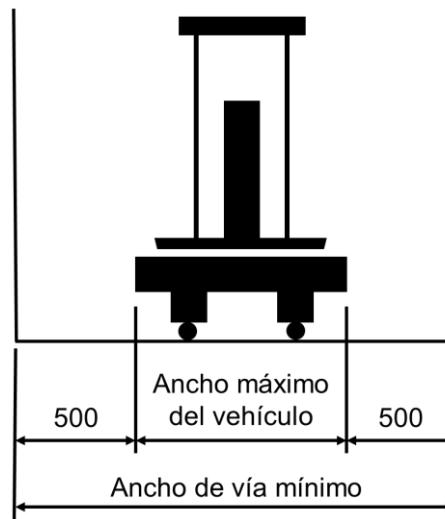
Figura 0.8. Nueva disposición de planta.



Fuente: [6]

Para establecer medidas y obtener el dimensionamiento de las vías de circulación, se siguen las recomendaciones de la NTP-434, que es una guía de buenas prácticas sobre superficies de trabajo seguras. Para los vehículos que son unidireccionales su ancho debe ser igual al ancho máximo del vehículo o la carga aumentada en 1 metro [10] (ver Figura 2.9).

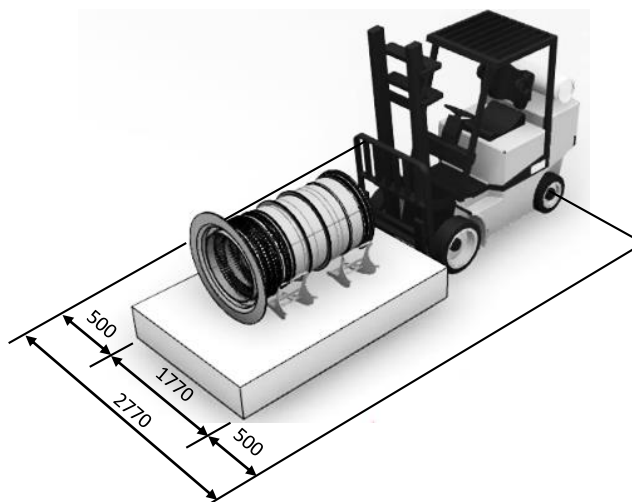
Figura 0.9. Dimensiones para vehículo destinado al transporte de mercancía (medidas en mm).



Fuente: [7]

Las medidas preliminares del STT se determinan tomando como referencia el motor turbofan ya que es el componente con mayor tamaño, peso y complejidad de sujeción al momento de ser transportado y ensamblado. Una alternativa de solución es la de una plataforma de 1,77 m unida a una carretilla elevadora. Para esto el carril debe ser de 2,77 m para cumplir con las recomendaciones de la NTP 434 [10]. Sin embargo, es necesario proponer un STT que cumpla los requerimientos de: a) fiabilidad, b) flexibilidad, c) autonomía y d) adaptación a la distribución de planta permitiendo que está sea más dinámica en el sistema.

Figura 0.10. Recorrido preliminar reservado para el STT (medidas en mm).



Fuente: [7]

CAPÍTULO 3

ESPECIFICACIONES OBJETIVO PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se establecen los requerimientos para el STT, transformándolos en términos técnicos, para facilitar la comparación de estos parámetros con otros existentes en el mercado por medio de un proceso de vigilancia estratégica. El resultado de esta etapa es una lista de especificaciones objetivo, que permiten tener una descripción inicial de lo que el STT debe tener para cumplir con sus funciones. Finalmente, estas especificaciones se refinan para que sean consistentes con las restricciones impuestas por el equipo de diseño.

3.2 LISTA DE MÉTRICAS

Con la lista de métricas se podrán identificar tendencias importantes, obtener información necesaria para la toma de decisiones e indicadores que conducen a la mejora del STT. Además, permiten expresar el vocabulario común en un lenguaje técnico, entre línea de ensamble y el grupo de personas que participa en el diseño del STT.

Antes de emplear la lista de métricas, se elaboró una encuesta con un conjunto de enunciados contruidos con las necesidades de la línea de ensamble para el STT, se organizaron en una lista jerárquica con valores de importancia para todas las necesidades.

Para establecer la importancia relativa de las necesidades con el STT, se le asignó un valor en una escala de 1 a 5 (siendo 1 función indeseable, 2 función no importante, 3 función buena mas no necesaria, 4 función altamente deseable, 5 función de importancia crítica. En el ANEXO A se presenta la encuesta utilizada para establecer el orden de importancia de las necesidades.[8] Luego de la realización de la encuesta, se puede consolidar la siguiente información:

Tabla 0.1. Necesidades de la línea de ensamble para el STT y su importancia relativa

Número	Necesidad	Importancia
1	Eficiencia energética	5
2	Flexibilidad en la trayectoria	5
3	Capacidad de elevación complementaria	4
4	Adaptable a mejoras	4
5	Sistema Robusto pero funcional	4
6	Manejo autónomo	5
7	Larga vida útil	5
8	Fácil acceso para mantenimiento	4
9	Disponibilidad de un sistema de suspensión	4
10	Capacidad para transportar dispositivos, elementos y/o componentes	5

Adaptado de: [8]

En la Tabla 3.2 se denotan las necesidades relacionadas a cada métrica, las unidades de medida y una calificación que da la importancia relativa a cada métrica. Las unidades de las métricas se expresan de acuerdo al sistema internacional de unidades y las métricas subjetivas se abrevian con “Subj.”

Tabla 0.2. Lista de métricas para el STT. La importancia relativa de cada métrica y las unidades correspondientes

Métrica núm.	Núm. De necesidad	Métrica	Importancia	Unidad
1	1	Tiempo de operación	5	h
2	1	Consumo de Potencia	5	kW
3	1	Tiempo de carga de energía	5	h
4	2	Ángulo de rotación	5	grados
5	2,12	Longitud Máxima	5	mm
6	2,12	Ancho	5	mm
7	2	Altura	5	mm
8	2	Distancia entre ejes	5	mm
9	2	Medidas de las ruedas	5	mm
10	2	Velocidad Máxima desplazamiento (sin carga y con carga)	4	km/h
11	2	Alcance de radio de curvatura	4	mm
12	2	Desplazamiento lateral	4	mm
13	2	Desplazamiento angular (Rotación)	4	mm
14	3,12	Dimensiones de Carga	4	mm
15	3	Máxima altura de elevación	4	mm
16	3	Velocidad Máxima de Elevación	4	km/h
17	4	Unidad de control avanzada	4	h
18	4	Herramientas especiales	4	Subj.
19	5	Rigidez torsional longitudinal	4	kN/m
20	5	Resistencia a la Flexión Lateral	4	N
21	5	Resistencia a la Flexión Vertical	4	N
22	6	Sistema de Radio Telemetría + Estación de Control de Tierra	5	Binaria
23	7	Aplicación teorías de falla	5	Ciclos
24	7	Análisis vida-esfuerzo	5	N/m ²
25	8	Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento	4	h
26	9	Distancia de amortiguamiento	4	mm
27	9	Rango de ajuste del coeficiente de amortiguamiento	4	mm
28	10	Capacidad nominal	5	kg

Adaptado de: [8]

3.3 MATRIZ DE NECESIDADES-MÉTRICAS

Para facilitar el análisis de la información obtenida de la encuesta, se utiliza la técnica de la Casa de la calidad o matriz de necesidades-métricas [8], para representar la relación entre necesidades y métricas, con esto se tendrá una visión objetiva de las características primordiales para el STT, esta relación se puede ver en el anexo B.

Con la aplicación de la matriz se ha conseguido lo siguiente:

- Visualizar la relación entre la necesidad y la métrica en la matriz. Sin embargo, puede ser difícil que una necesidad se traduzca en una sola métrica, por eso para reflejar por completo una necesidad se emplea varias métricas.
- Conocer aspectos de mayor importancia como lo es la flexibilidad en la trayectoria, lo cual permitirá un recorrido que se ajuste al diseño de planta, sin necesidad de que se modifique la cadena de producción y sin paradas ni pérdidas de tiempo.
- Conocer los aspectos con menos importancia como lo son: a) fácil acceso a mantenimiento, b) manejo autónomo y c) eficiencia en el uso de la energía, lo que indica que solo se brinda relevancia al transporte de componentes, dejando de lado características que contribuyen al buen funcionamiento del STT.

3.4 VIGILANCIA ESTRATÉGICA

La vigilancia estratégica es una metodología que permite detectar fuentes de información para analizar, tomar decisiones de tipo tecnológico y extraer información relevante sobre tendencias, invenciones, aplicaciones, tecnologías emergentes, lo que ayuda a contemplar aspectos de mercado que pueden condicionar el éxito de una innovación. Con el fin de extraer ideas innovadoras que contribuyan al desarrollo del STT, se emplea la metodología CANVAS de vigilancia. [9]

Esta metodología se divide en las siguientes etapas:

- Captación y análisis del entorno
- Prospectiva

3.4.1 Captación y análisis del entorno

El conjunto de acciones de búsqueda, tratamiento (filtrado, clasificación y análisis) de información de interés con relación al STT, se encuentra reflejada en la tabla 3.3.

Tabla 0.3. Observación y análisis del entorno tecnológico.

Tema	¿Qué se descubrió?	¿Qué se conoció?	¿Cómo aporta a la solución de la problemática?
Plataforma o robot móvil	La percepción humana ha cambiado, se ha creado una nueva concepción, la de una planta de fabricación flexible con facilidad de desplazar elementos por medios inteligentes y autónomos. Sin embargo, aún se utiliza medios de transporte como montacargas, grúas, bandas, entre otros.	Los medios de transporte tradicionales dependen del producto a trasladar y son muy limitados en sus funciones. Por tal motivo, existen plataformas autónomas móviles con capacidad para desempeñar diversas tareas como: transporte, manejo de materiales, carga y descarga, entre otros.	Definir un diseño que permita transportar varios componentes en un solo sistema reduciendo la necesidad de varios medios de transporte. Tendrá buena acogida en el mercado ya que es una tecnología innovadora en el manejo de elementos de alta complejidad y con autonomía de funcionamiento.
Transporte de turbofan (Motor)	Mercado dominado por pocas multinacionales y con una gran variedad de configuraciones para el transporte.	Existe una gran variedad de transportadores diseñados específicamente para cada tipo de motor.	Obtener un diseño que permita el fácil ensamble y el transporte de toda clase de motor.
Desplazamiento de la plataforma	Los diseños de llantas que proporcionan desplazamientos independientes están adquiriendo gran avance tecnológico.	Se encuentran en el mercado llantas que no son convencionales y que se utilizan en las plataformas para obtener un recorrido libre del diseño de planta.	Permite transitar con facilidad entre cualquier punto de la Planta.

Continuación de Tabla 3.3

Chasis (Bastidor)	Los bastidores son los encargados de proteger partes sensibles, dar sujeción a los componentes mecánicos, cumplir con la función de absorción de impactos y evitar la deformación.	Se hallan varios tipos de bastidores en la actualidad, ya que la producción en cadena permitió a los fabricantes desarrollar sus propias carrocerías y montarlas sobre sus chasis en las mismas factorías.	Es necesario elegir o diseñar un bastidor que cumpla con las características como resistencia y ligereza para soportar elementos mecánicos y diferentes sistemas secundarios que permiten el desplazamiento del vehículo.
Sistema de elevación	Aparecen diversas alternativas en el mercado para la elevación y posicionamiento de carga.	Los sistemas de elevación más utilizados en la industria son: mecanismo hidráulico de tijera, gatos con cables, etc. La selección de este mecanismo depende del elemento que se va a levantar.	El sistema de elevación tendrá la capacidad de alzar simultáneamente los diferentes elementos que se estén transportando
Sistema de alimentación	Garantiza la autonomía de la plataforma, dado que al ser móvil generalmente no va a poder tener energía externa, sólo contará con las reservas internas que pueda transportar.	Para el diseño de alimentación de energía se realiza un diagrama de flujo para identificar las actividades de mayor consumo. También se ha reducido el tamaño de la fuente energética para disminuir su peso.	Una mayor eficiencia en el consumo de energía y se establecen las prioridades de alimentación.

Adaptado de: [9]

3.4.2 Prospectiva

La prospectiva es una metodología utilizada para: a) conocer mejor la situación presente, b) identificar tendencias futuras, c) anticipar el comportamiento del mercado y d) analizar el entorno tecnológico, comercial y social.

Para el desarrollo de esta metodología se hace un análisis de tendencia con el fin de recolectar información sobre el comportamiento de una variable a lo largo del tiempo y su proyección a futuro (ver Tabla 3.4).

Tabla 0.4. Análisis de tendencias con respecto al STT

Análisis de tendencia				
Tecnología: Sistema de transporte terrestre				
¿El uso de ésta tecnología para la solución de la problemática está estable, aumentando o disminuyendo?				
Experto / Tendencia	=	↑	↓	Tendencia Razón
Autonomía		✓		Reducir costos y tiempo de operación
Multi - propósito		✓		Eliminar medios de transporte
Tecnología: Diseño de estructura				
¿El uso de ésta tecnología para la solución de la problemática está estable, aumentando o disminuyendo?				
Experto / Tendencia	=	↑	↓	Tendencia Razón
Chasis		✓		Materiales livianos y alta resistencia mecánica
Tecnología: Sistema operacional				
¿El uso de ésta tecnología para la solución de la problemática está estable, aumentando o disminuyendo?				
Experto / Tendencia	=	↑	↓	Tendencia Razón
Mecánico		✓		Movimiento multidireccional
Sensorial		✓		Autoadaptabilidad y ubicación de obstáculos
Control		✓		Programación de recorrido y realización de tareas
Alimentación		✓		Óptimo suministro y uso de energía

Adaptado de: [9]

Los desarrollos tecnológicos alrededor del STT a nivel investigativo están dirigidos principalmente a la versatilidad y autoadaptabilidad; la primera abarca la ejecución de diversas tareas y la segunda la capacidad de cumplir su objetivo a pesar de las perturbaciones imprevistas del entorno, esto con ayuda de sensores. En la industria la tecnología móvil es utilizada con el propósito de mejorar la eficiencia en producción, la calidad de producto terminado y reducir costos de operacionales.

3.5 VALORES OBJETIVO IDEAL Y MARGINALMENTE ACEPTABLE

Para establecer valores objetivo, se considera la información de los componentes a transportar y el diseño de planta, la vigilancia estratégica y la capacidad futura de productos de la competencia. Del resultado de la vigilancia estrategia se encontraron un rango de valores los cuales son sacados del mercado o hacen parte de la competencia; para otras métricas no fue posible determinar un rango ya que la información no es suministrada por la empresa para sus clientes. En la Tabla 3.5 se muestran las métricas obtenidas por este proceso.

Tabla 0.5. Valores para definir especificaciones objetivo para el STT

Núm.	Métrica	Unidad	Valor marginal	Valor Ideal
1	Tiempo de operación	h	5-8	>8
2	Longitud máxima	mm	2000 - 3200	2500 - 3000
3	Ancho	mm	1850 - 2000	2000
4	Altura	mm	415 - 720	700
5	Número de ruedas	Cantidad	4 - 6	6
6	Diámetro de las ruedas	mm	375 - 575	375 - 575
7	Distancia rueda-suspensión	mm	+/- 30	+/- 35
8	Velocidad sin carga	km/h	2 -3,6	0,1 - 3
9	Altura de elevación	mm	650 -3000	750 - 2850
10	Capacidad de carga	kg	1000 - 7000	5000

Adaptado de: [8]

Identificar los requerimientos para el STT es una parte integral dentro del proceso ya que son útiles para guiar las subsiguientes etapas de generación de conceptos.

CAPÍTULO 4

GENERACIÓN DE DISEÑOS CONCEPTUALES

4.1. INTRODUCCIÓN

A partir del conocimiento de las necesidades y exigencias por parte de la línea de ensamble acerca del STT, se generan conceptos que conducen a un producto conforme a los criterios presentados anteriormente. Un concepto es una descripción breve de las características del producto, como son forma, tecnología y algunas especificaciones técnicas. El concepto puede ser representado por un esquema acompañado de textos abstractos que detallen algunas particularidades del diseño. El éxito del producto depende en gran medida de la calidad del concepto fundamental.

En este capítulo se presentará el proceso para generar conceptos para el STT, iniciando con el conjunto de necesidades y las especificaciones objetivos definidas en los capítulos anteriores, lo cual permitirá crear un conjunto de alternativas para las diferentes funciones del STT y seleccionar las opciones más adecuadas.

4.2 MÉTODO DE CINCO PASOS

En la generación de conceptos se pueden originar problemas que afectan el desarrollo del producto. Estos inconvenientes incluyen: a) pocas ideas o alternativas propuestas por el equipo de diseño, b) soluciones ineficientes para las exigencias presentadas por la línea de ensamble y c) no considerar categorías enteras de soluciones.

Para evitar y reducir la incidencia de estos problemas se emplea un método estructurado que proporciona un procedimiento paso a paso que permite la participación activa de todos los integrantes del equipo de diseño, incorporando soluciones parciales con la información proveniente de diferentes fuentes.

Según Ulrich: “El método de cinco pasos para la generación de conceptos descompone un problema complejo en subproblemas más sencillos” [8]. Los conceptos son generados para solucionar subproblemas por medio de una exploración en la información existente, la cual se agrupan en conjuntos de observaciones que se analizan y se compone una solución global. Por último, el equipo reflexiona en la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos y el proceso que se desarrolló.

4.2.1 Aclaración del problema

En este paso se busca desarrollar un entendimiento general del STT. Las necesidades de la línea de ensamble, la misión de STT y algunas características preliminares darán paso a la generación de conceptos. Inicialmente se descompone los problemas de transporte y elevación de componentes aeronáuticos en subproblemas, ya que es un producto demasiado complejo, esto ayuda a que el equipo se enfoque a resolver los retos de diseños que tiene cada sistema que hace parte del STT.

El principal problema que tiene la línea de ensamble es como transportar los componentes grandes en toda la fábrica y trasladarlos hasta el punto inicial de la grúa de puente, que se encarga de elevarlos para el montaje. El equipo de diseño realizó algunas suposiciones para la declaración de la misión:

- Un STT para diferentes compontes pesados y ligeros.
- Facilidad de transitar por toda la planta.
- Sistema de elevación para la instalación de los componentes
- Un STT autónomo.
- Baterías como fuente energética.

Con base a las suposiciones realizadas se pueden identificar las necesidades de la línea de ensamble:

- Un STT que permita transportar toda clase de componentes en un solo sistema.
- Una plataforma (STT) con recorrido flexible y que no dependa del diseño de planta.
- Un sistema de elevación con capacidad de alzar diferentes elementos simultáneamente.
- STT con poca intervención humana.
- Trabajo durante un periodo prolongado de tiempo.

Estas necesidades posteriormente se tradujeron en especificaciones objetivos del STT, como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1.Especificaciones objetivo preliminares del STT

Núm.	Métrica	Valores	Unidad
1	Tiempo de operación	8	h
2	Longitud máxima	3000	mm
3	Ancho	2000	mm
4	Altura	700	mm
5	Numero de ruedas	6	Cantidad
6	Diámetro de las ruedas	375 - 575	mm
7	Distancia rueda-suspensión	+/- 35	mm
8	Velocidad sin carga	0,1 - 3	km/h
9	Altura de elevación	750 - 2850	mm
10	Capacidad de carga	5000	kg

Adaptado de: [8]

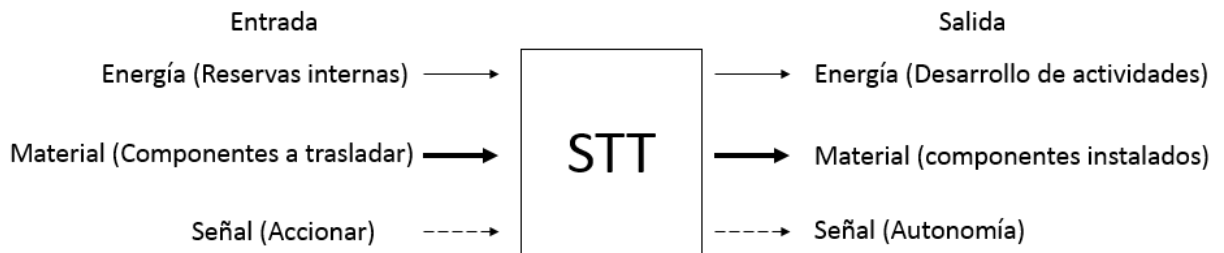
Estas especificaciones son preliminares ya que aún no se selecciona un concepto y no se han resuelto algunos detalles de diseño, por lo que muchas concesiones están por definir.

Después de aclarar el problema se identifica que el diseño del STT presenta funciones complejas, por eso es conveniente dividir el problema principal en subproblemas por medio de una descomposición funcional.

4.2.1.1 Descomposición funcional

Para descomponer el problema principal en subproblemas más simples se utiliza una metodología conocida como “caja negra” [8]. La caja negra es un esquema que representa las funciones generales asociadas al STT, el cual contempla los procesos de transferencia de energía, material y señales de control.

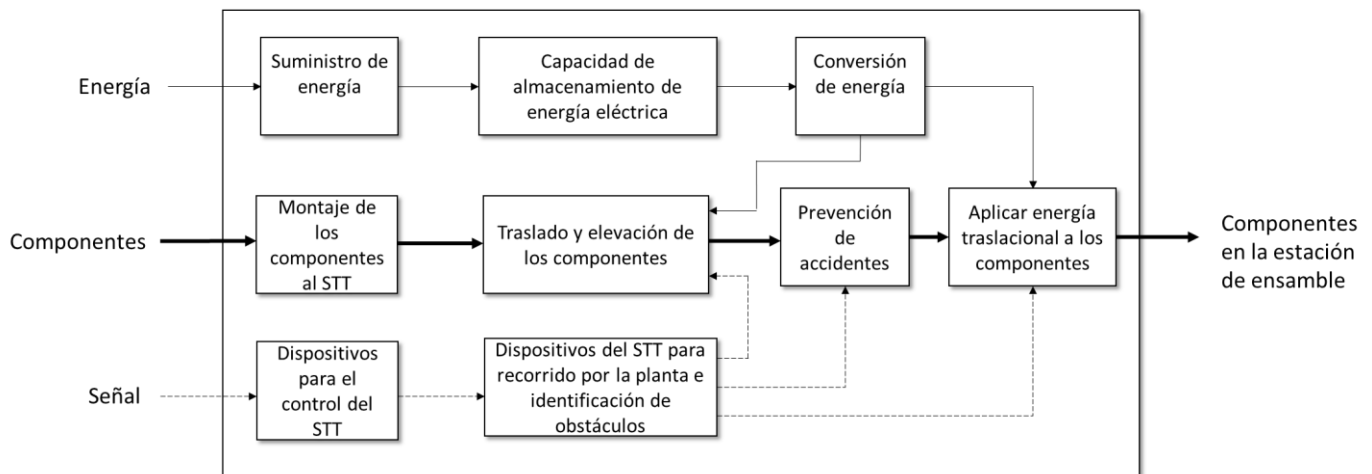
Figura 4.1. Diagrama funcional del STT que surge de una descomposición funcional (caja negra)



Adaptado de: [8]

A partir de la caja negra se procede a descomponer las funciones en subfunciones con el objetivo de generar descripciones de los sistemas más específicas. El resultado final se muestra en la Figura 4.2, en un diagrama funcional que contiene subfunciones.

Figura 4.2. Diagrama funcional que muestra subfunciones



Adaptado de: [8]

Estas subfunciones se muestran de manera general sin incluir especificaciones técnicas de los sistemas a utilizar, esto con el objetivo de que el equipo pueda presentar una amplia gama de soluciones a los problemas que se presentan. Ya completado la descomposición del problema, el equipo de diseño enfocará todos los esfuerzos en encontrar soluciones innovadoras y creativas para los sistemas más críticos (ver Tabla 3.1, capítulo 3).

4.2.2 Búsqueda externa de posibles soluciones

La búsqueda externa tiene como propósito explorar información acerca de los STT que hay en el mercado. Este proceso ayuda a encontrar soluciones existentes a los problemas y subproblemas presentados anteriormente, optimizando tiempo y recursos. El equipo de diseño consultó varias fuentes de información como son: a) usuarios líderes del STT, b) expertos, c) literatura técnica e d) información web y un proceso de vigilancia estratégica (ver capítulo 3).

Alguno de los resultados producto de la búsqueda se presentan a continuación:

Figura 4.3. Plataforma móvil para cargas pesadas KUKA



Fuente: [10]

Kuka define: “la plataforma móvil permite trasladar cargas pesadas y voluminosas en la posición correcta y en el punto preciso. La libertad de movimiento ilimitada mediante la tecnología de accionamiento omnidireccional en el plano lo hace posible. Los sistemas móviles de transporte para logística interna elevan sin esfuerzo cargas de hasta 90 toneladas” [1]

Figura 4.4. Plataforma de trabajo levadiza móvil KMP Triple Lift



Fuente: [10]

Según Kuka: “La plataforma se destaca por un diseño de elevación completamente novedoso, que convence por sus valores internos. Podrá concentrarse en su trabajo con una total sensación de seguridad, incluso a gran altura, sin notar prácticamente oscilaciones. KMP Triple Lift es especialmente adecuado para el mantenimiento, la reparación y la supervisión de aviones o de piezas extremadamente grandes”. [8]

4.2.3 Búsqueda interna de posibles soluciones

Este proceso es realizado por el equipo de diseño haciendo uso del conocimiento personal para generar conceptos de solución. Originar ideas factibles y no factibles, el uso de medios gráficos y físicos, realizar diversas actividades que estimule la creatividad hacen parte del desarrollo de esta tarea.

El equipo de diseño realizó un trabajo individual y sesiones de grupo para la búsqueda de información interna, asignando subproblemas para el desarrollo de diferentes conceptos de solución. Aquí se presentan algunos casos.

- Selección de chasis: Para la selección del chasis, el integrante a cargo de esta tarea primero definió el conocimiento que tenía de bastidores y resolvió cuáles son los tipos más utilizados en los sistemas de transporte y cual se adaptaba más a los requerimientos de la línea de ensamble, esta información fue compartida al equipo, que por medio de un juicio se seleccionó el más indicado. [11]
- Selección de sistema de potencia: de igual manera un integrante del equipo hizo uso de su información técnica para proceder de manera individual a dar ideas de que sistemas de potencia es el indicado para la aplicación del STT. Las variables se estudia en grupo y se llega a una conclusión. [11]
- Llantas o ruedas: El espacio de discusión acerca de las ruedas ha sido amplio, ya que se requiere un STT omnidireccional, esto ha abierto a diferentes ideas por parte del equipo de diseño, las cuales se han ido descartando por medio de una exploración sistemática. [11]
- Sistema de elevación: El integrante encargado del diseño del sistema de elevación realizó un ejercicio de adquirir información, por el poco conocimiento que se tenía sobre el tema, se produjeron planteamientos y bosquejos sugeridos por los participantes basados en la investigación y recolección de información acerca de sistemas de elevación que se encuentran en el mercado. [11]

4.2.4 Explorar sistemáticamente

La búsqueda externa e interna origina un gran volumen de información, que inducen a soluciones a los subproblemas planteados para el STT, esto representa una gran dificultad para el análisis y generación de conceptos. Un método que posibilita la toma de decisión es una exploración sistemática.

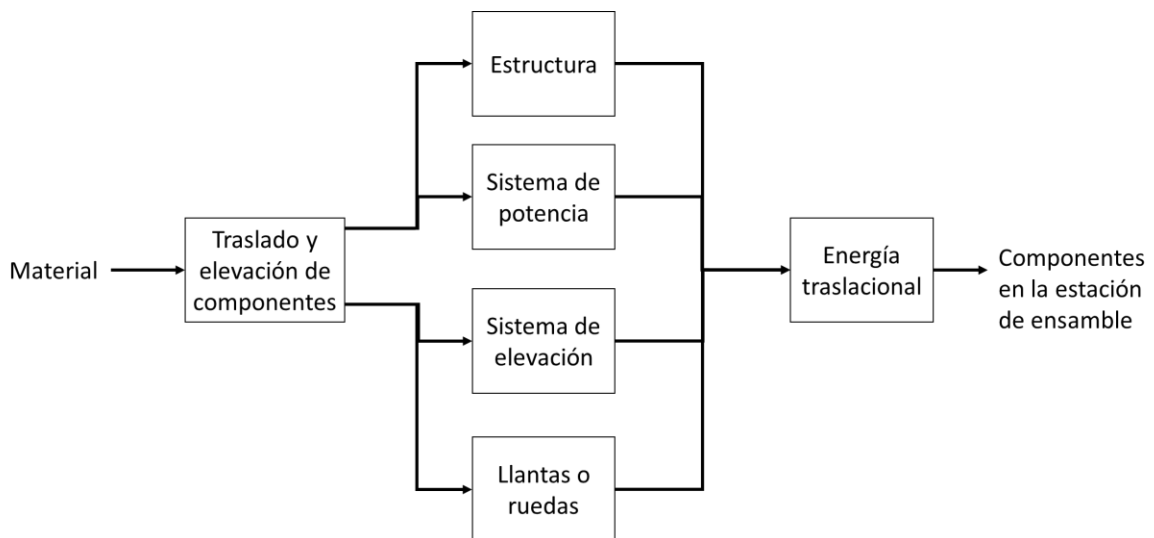
Ulrich propone: “La exploración sistemática tiene dos herramientas específicas para manejar la complejidad de la información y organizar el pensamiento del equipo: el árbol de clasificación de conceptos y la tabla de combinación de conceptos”. [8]

A continuación se definen el árbol de clasificación y la tabla de combinación de conceptos para el STT.

4.2.4.1 Árbol de clasificación

El árbol de clasificación permite dividir los conceptos en categorías que facilitan la comparación y la eliminación de las soluciones. El equipo se enfocó en el subproblema de traslado y elevación de componentes, el cual tuvo un refinamiento en la descomposición, como lo muestra la Figura 4.5. Esto se hizo debido a la necesidad de adaptar de manera más útil el subproblema a tratar. El equipo también se enfocó en los subproblemas del sistema de suministro de energía y sistema de control, elaborando un árbol de clasificación para cada subproblemas mencionados.

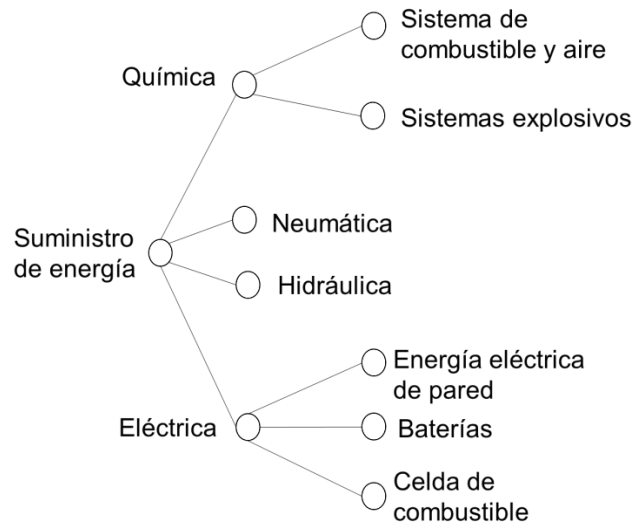
Figura 4.5. Nueva descomposición del subproblema que supone la traslación y la elevación de componentes aeronáuticos



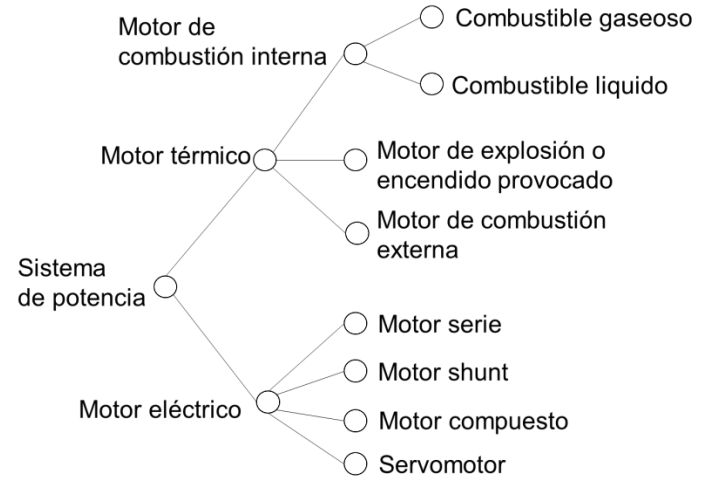
Adaptado de: [8]

En los arboles de clasificación de las Figuras 4.6 se muestra las soluciones alternativas que el grupo tuvo en cuenta para cada subproblema crítico

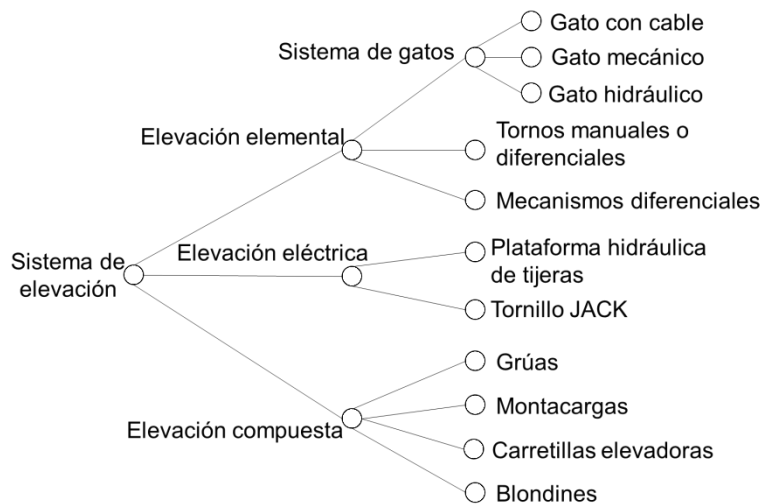
Figura 4.6. Arboles de clasificación



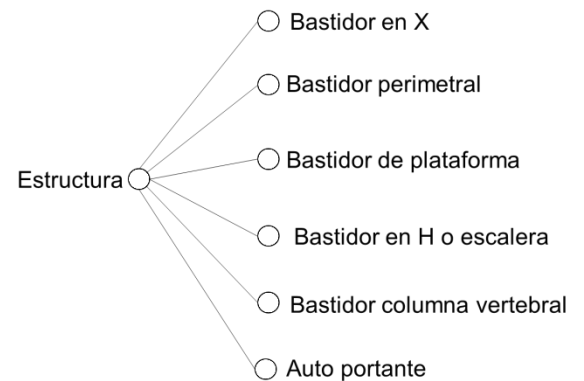
a) Suministro de energía



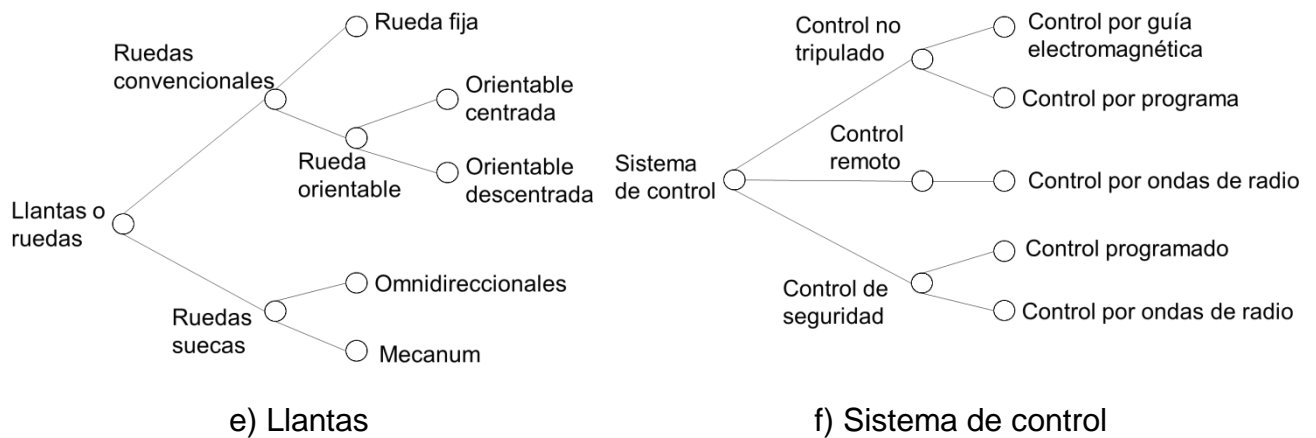
b) Sistema de potencia



c) Sistema de elevación



d) Estructura



Adaptado de: [8]

Después de una exhaustiva evaluación a los árboles de clasificación de cada subproblema crítico, el equipo decidió eliminar las ramas menos prominentes como lo son la rama de explosivos para el sistema de alimentación, motores térmicos para el sistema de potencia, entre otros, y enfocar los recursos en soluciones más viables de acuerdo con los requerimientos de la línea de ensamble.

4.2.4.2 Tabla de combinación de conceptos

Las tablas de combinación de conceptos ayudan a crear posibles soluciones de manera sistemática. Las soluciones al problema general se forman al combinar fragmentos de cada columna, esta combinación debe de ser evaluada y desarrollada de manera creativa para obtener un resultado coherente y que lleve al buen funcionamiento del STT. En las Figura 4.7 se muestran la tabla de combinaciones que el equipo de diseño desarrolló para encontrar posibles soluciones.

Figura 4.7. Tabla de combinación de conceptos para el STT

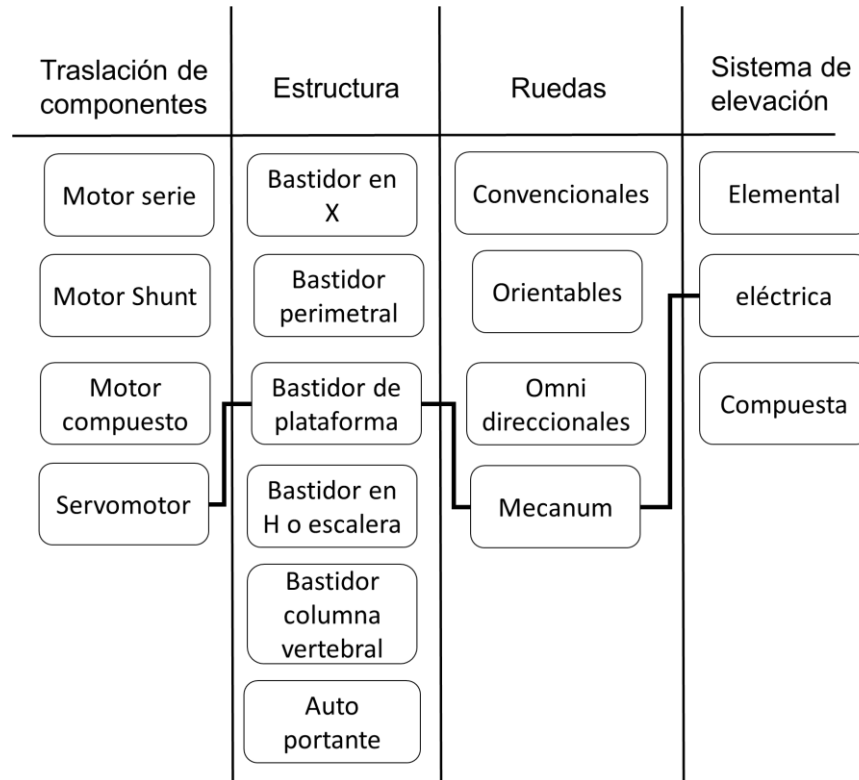
Traslación de componentes	Estructura	Ruedas	Sistema de elevación
Motor serie	Bastidor en X	Convencionales	Elemental
Motor Shunt	Bastidor perimetral	Orientables	eléctrica
Motor compuesto	Bastidor de plataforma	Omni direccionales	Compuesta
Servomotor	Bastidor en H o escalera	Mecanum	
	Bastidor columna vertebral		
	Auto portante		

Adaptado de: [8]

Las soluciones potenciales al problema general se forman al combinar los componentes de cada columna (aunque no lleva de manera inmediata a una solución), desarrollándose y refinándose antes de que pueda haber una solución integral [8]. Esta combinación puede producir alternativas no viables o llevar a más de un resultado. En la Figura 4.8 se muestra algunas de las combinaciones desarrolladas por el equipo de diseño y evaluadas como una posible solución.

Por medio de árboles de clasificación y tablas de combinación de conceptos se organiza de forma flexible el pensamiento y el sentir del equipo, y abarca todas las posibles alternativas para los subproblemas propuestos. El equipo define y clarifica los conceptos más factibles para obtener un STT que cumpla con los objetivos propuestos.

Figura 4.8. Posible combinación de conceptos para el STT



Adaptado de: [8]

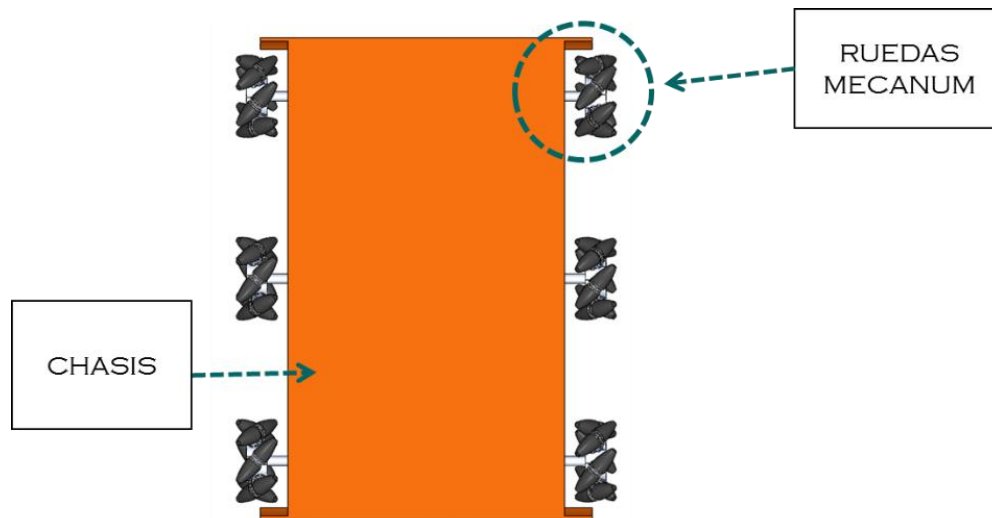
Algunas soluciones múltiples que surgen de la combinación entre un servomotor con reductor, bastidor de plataforma, ruedas mecanum y un sistema de elevación eléctrico. Un servomotor con reductor genera movimiento del STT que se puede dirigir en todas las direcciones, un bastidor que soporte diferentes dispositivos aeronáuticos y un sistema con la capacidad de elevar estos componentes.

4.2.5 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Del proceso de generación de conceptos se efectuaron las siguientes reflexiones: El equipo desarrolló un espacio de confianza donde se procesaron diferentes ideas para solucionar diferentes tipos de problemas y fueron exploradas en su totalidad. Por medio de los diagramas funcionales se pudo descomponer el problema general en subproblemas, los cuales se seleccionaron los más críticos y mediante una investigación externa, donde se reunió información de todo tipo, se integró con los datos que cada miembro tenía acerca de los STT. En las Figuras 4.9, 4.10 y 4.11 se observan los tres conceptos factibles los cuales fueron desarrollados y propuestos para una selección final:

- Primer concepto: Configuración de ruedas laterales.

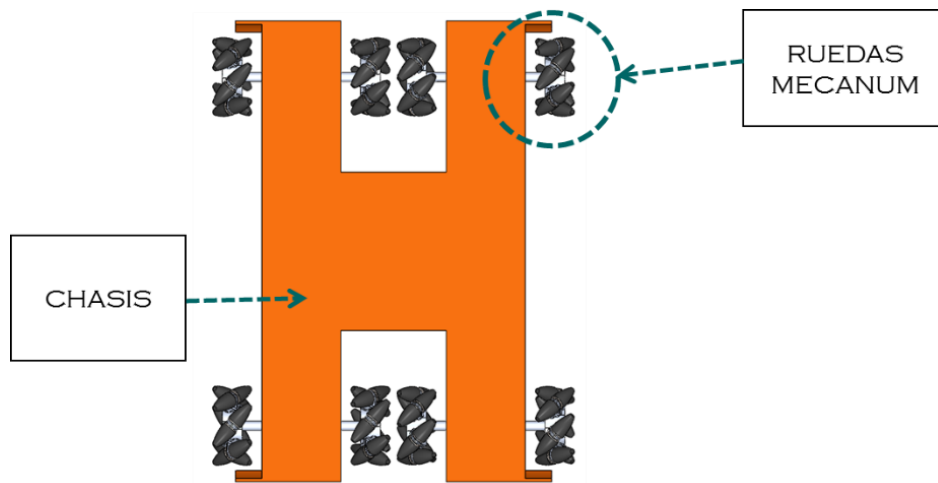
Figura 4.9. Primer concepto para el STT



Adaptado de: [11]

- Segundo concepto: Configuración de ruedas centrales.

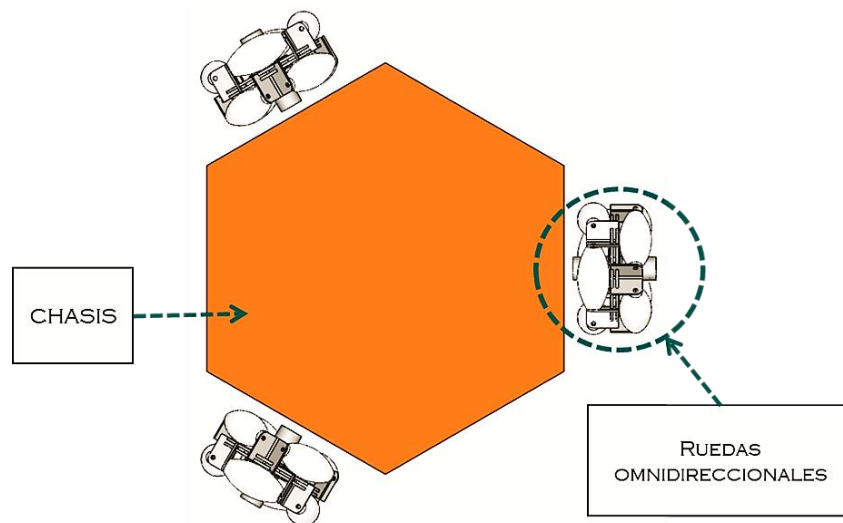
Figura 4.10. Segundo concepto para el STT



Adaptado de: [11]

- Tercer concepto: Configuración triangular.

Figura 4.11. Tercer concepto para el STT



Adaptado de: [11]

El equipo exploró estos conceptos con más detalle, los cuales se presentan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5

SELECCIÓN DEL CONCEPTO

5.1. INTRODUCCIÓN

La selección del concepto es la etapa donde se determina y evalúa el conjunto de posibilidades generadas en las fases anteriores, examinando y comparando los puntos fuertes y débiles de cada idea, seleccionando uno o más conceptos para su posterior investigación y desarrollo. Por medio de procesos iterativos, el conjunto de alternativas se reduce valorando criterios relacionados con las necesidades de la línea de ensamble y la viabilidad del producto. Esta iteración también permite observar la viabilidad de combinar conceptos y definir el concepto más adecuado teniendo en cuenta los requerimientos de la línea de ensamble.

5.2. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL CONCEPTO

Para la selección del concepto existen diferentes metodologías, las cuales varían según su efectividad, entre los cuales se encuentran: a) campeón del producto, b) decisión externa, c) votación múltiple, d) intuición, e) prototipo y prueba, f) matrices de decisión, entre otros. El equipo de diseño integró las matrices de decisión para la evaluación de los conceptos, la cual especifica que: “Cada concepto se califica contra criterios de selección especificados de ante mano, los cuales pueden ser ponderados” [8].

Un método estructurado para la selección de conceptos permite que el producto este enfocado a satisfacer las necesidades de la línea de ensamble con un diseño del STT efectivo y competitivo. También ayuda al equipo de diseño a mejorar la coordinación del proceso y a tomar decisiones efectivas con base en los criterios definidos en los objetivos del proyecto. Un proceso estructurado también ayuda a guiar al equipo al desarrollo del producto ofreciendo beneficios, reduciendo tiempos y pérdida de objetividad.

Para la selección del concepto se presenta dos etapas en la metodología que el equipo de diseño estructuró, la primera etapa es la de filtrado de conceptos y la segunda, evaluación de conceptos. De esta forma se puede filtrar y evaluar diversos conceptos que se generan en las etapas anteriores y ayuda a mejorar los diseños obtenidos. Estas dos fases siguen un procedimiento de seis pasos que conducen al equipo al seleccionar el concepto [8]:

1. Elaborar la matriz de selección.

2. Evaluar el concepto.
3. Ordenar los conceptos.
4. Combinar y mejorar los conceptos.
5. Seleccionar uno o más conceptos.
6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

Estos lineamientos ayudan al equipo a tener criterios de selección claros, los cuales permiten obtener una alternativa apropiada y que cumpla con los requerimientos de la línea de ensamble.

5.3 FILTRADO DE CONCEPTOS

Esta fase se encarga de reducir la información o el número de conceptos producidos en los capítulos anteriores y obtener un concepto mejorado de acuerdo con los requerimientos de la línea de ensamble.

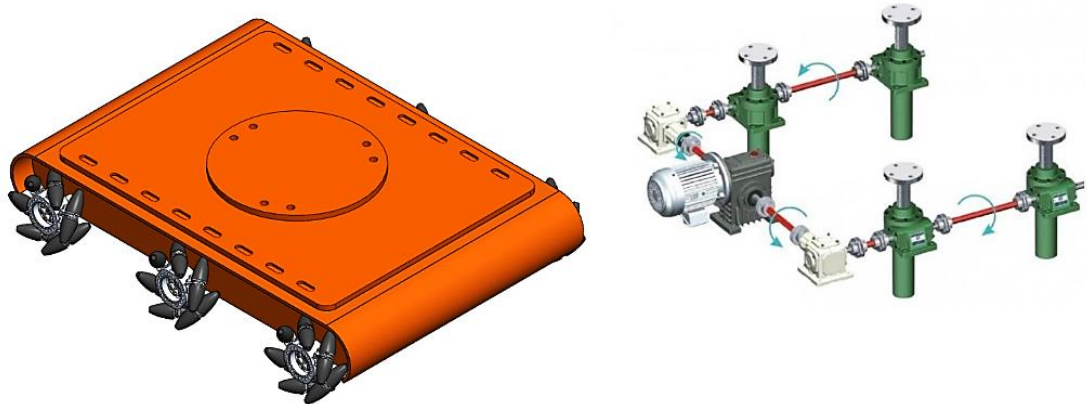
5.3.1 Matriz de selección

Para la elaboración de la matriz de selección se tiene en cuenta las necesidades de la línea de ensamble para evaluar los conceptos, y llegar a un consenso de selección por medio del voto de cada integrante del equipo de diseño. Los conceptos se presentan como un bosquejo y una descripción escrita para facilitar la identificación de las características claves del diseño por parte del equipo. En la Figura 5.1, 5.2 y 5.3 se muestran los diseños del STT a evaluar por medio de la matriz de selección, no obstante en el capítulo 4 se consideraron diferentes conceptos los cuales se filtraron, lo que permitió obtener tres conceptos definidos por el equipo como los más apropiados para cumplir con los requerimientos de la línea de ensamble. A continuación se presentan los conceptos con su respectiva descripción:

a) Primer concepto: Configuración de ruedas laterales

En la Figura 5.1 se observa el primer diseño conceptual definido para el STT, esta configuración consta de seis ruedas laterales mecanum y un diseño práctico lo que conduce a un mantenimiento mucho más ágil y sencillo. La forma del STT permite tener firmeza y gran flexibilidad de movimiento con las ruedas mecanum. Además, la distribución de las seis ruedas a los lados permite obtener un centro de gravedad más bajo y centrado para el STT. Entre más bajo el centro de gravedad la probabilidad de que se incline disminuye, esto permite atravesar obstáculos y suavizar el movimiento.

Figura 4.12 Configuración de ruedas laterales

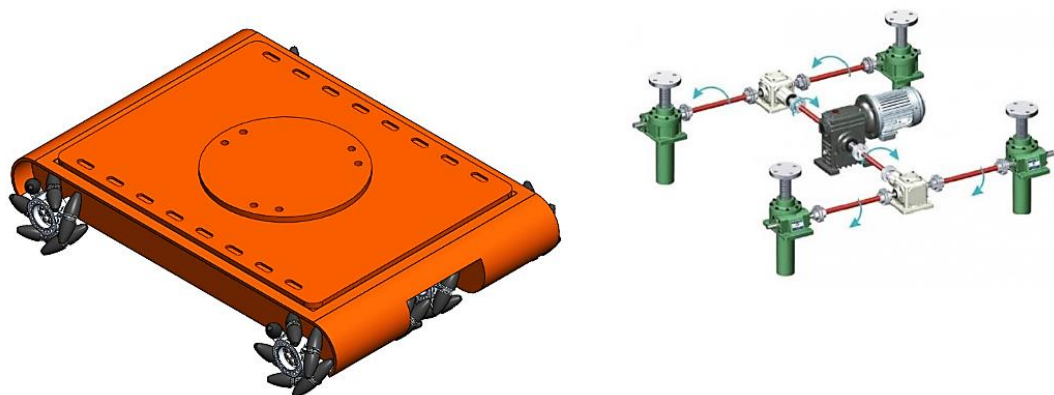


Fuente: [11]

b) Segundo concepto: Configuración de ruedas centrales

Esta configuración del STT cuenta con 6 ruedas mecanum, se considera mucho más flexible y ágil, aunque no se ha determinado la manera en que se podría moverse y las dificultades que podrían surgir. El diseño del STT lo hace firme y con gran capacidad para mover dispositivos pesado con gran equilibrio. También contaría con un sistema de potencia con una configuración más sencilla, aunque un mantenimiento más costoso. A continuación en la Figura 5.2 se presenta el diseño conceptual para el STT:

Figura 4.13 Configuración de ruedas centrales

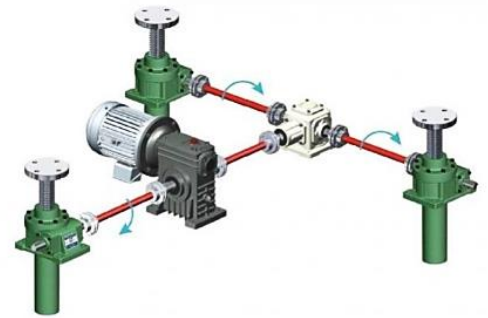
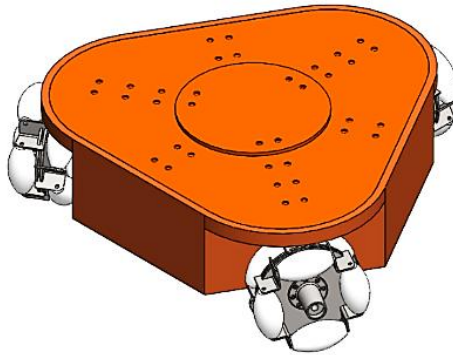


Fuente: [11]

c) Tercer concepto: Configuración triangular

Esta configuración tiene características particulares como: a) geometría diferente del chasis, ya que esta configuración posee una forma triangular y b) 3 ruedas omnidireccionales. Esta configuración posee menor capacidad para transportar dispositivos pesados y un empuje mucho menor, esto se debe al poco número de ruedas que tiene. El diseño conceptual se observa en la Figura 5.3:

Figura 4.14 Configuración triangular



Fuente: [11]

5.3.2 Evaluar los conceptos

El código para la evaluar los conceptos con respecto a la referencia (STT de KUKA) se muestra a continuación: (↑) excepcional, (-) normal, (↓) regular. Estos códigos se ponen en cada celda de la matriz para determinar cómo se compara cada concepto con la referencia en cada criterio de selección. Cada concepto tendrá una calificación y se optará por el concepto que más se adecua para un posterior desarrollo. Se recomienda evaluar cada concepto en un criterio antes de continuar con el próximo criterio.

La Tabla 5.1 muestra la matriz de selección, donde se evaluó los conceptos utilizando un concepto de referencia como son los STT de KUKA. Los criterios de selección basados en las necesidades de la línea de ensamble aparecen en la columna izquierda y las columnas del lado derecho contienen las configuraciones a valorar.

Tabla 4.2. Matriz de selección

Criterios de selección	Conceptos		
	I Conf. ruedas laterales	II Conf. ruedas centrales	III Conf. triangular
Eficiencia energética.	—	—	—
Flexibilidad en la trayectoria.	—	—	—
Capacidad de elevación complementaria.	—	—	—
Adaptable a mejoras.	—	—	—
Sistema Robusto pero funcional.	—	↑	↓
Manejo autónomo.	↓	↑	—
Larga vida útil.	↑	—	↑
Fácil acceso para mantenimiento.	↑	↓	↑
Disponibilidad de un sistema de suspensión.	↑	—	—
Capacidad para transportar dispositivos, elementos y/o componentes.	↑	↑	↓
Suma de ↑	4	3	2
Suma de —	5	6	6
Suma de ↓	1	1	2
Evaluación neta	3	2	0
Lugar	1	2	3
¿Continúa?	Si	Revisar	No

Adaptado de: [8]

5.3.3 Ordenar los conceptos

Las filas inferiores de la matriz muestran los resultados de la evaluación de cada concepto. Como se muestra en la Tabla 5.1 el concepto que obtuvo mejor puntuación es la configuración de ruedas laterales por tener cuatro criterios “excepcionales”, cinco criterios “normales” y solo un criterio “regular”. Por otro lado,

la configuración con ruedas centrales fue la segunda con mejor puntuación, por ende este concepto se podría investigar con mayor profundidad y obtener un desarrollo viable. La tercera configuración no se descarta para posibles combinaciones, aunque no se continúa su exploración.

5.3.4 Combinar y mejorar los conceptos

Una vez evaluada la matriz de selección se observa que se pueden mejorar algunas características del concepto más viable, para esto se combinan las cualidades de los tres conceptos con mejor calificación. Para los criterios de selección se tienen las siguientes observaciones:

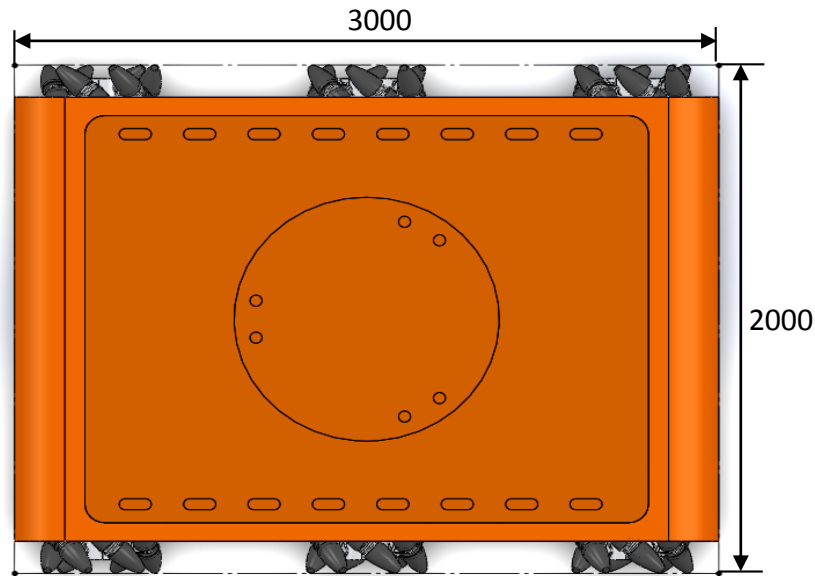
- a) Se obtuvo una calificación normal para la eficiencia energética, flexibilidad en la trayectoria, capacidad de elevación complementaria, adaptable a mejoras y sistema robusto pero funcional, dado que los componentes que están vinculados con estas categorías tienen el mismo rendimiento que las demás configuraciones. Como la configuración elegida no tiene la mayor robustez estructural, se recomienda a las personas que harán el análisis del chasis adoptar medidas para mejorar su estructura.
- b) Para el manejo autónomo se registró una calificación regular, por lo que se recomienda generar estrategias para tener un menor consumo de energía, utilizar materiales más livianos para disminuir el peso y la disminución de horas hombre que intervienen en el STT.
- c) En criterios como larga vida útil, fácil acceso para mantenimiento, disponibilidad de un sistema de suspensión y capacidad para transportar dispositivos, elementos y/o componentes, se presentó una calificación superior, por ende no es necesario generar acciones de mejora.

5.3.5 Selección de uno o más conceptos

El primer concepto: configuración de ruedas laterales ha sido el seleccionado para ser analizado y posteriormente desarrollado con sus respectivas mejoras. El equipo enfoca todos los recursos disponibles para realizar una investigación más profunda y progresar en las características más débiles.

La configuración seleccionada se muestra con más detalle en la Figura 5.4, las dimensiones cuentan con el espacio suficiente para proteger a cada uno de los componentes de daños y accidentes mientras el STT se traslada a cada una de las estaciones de ensamble. Se toma como premisa las especificaciones objetivo preliminares del STT para el dimensionamiento (ver tabla 4.1, capítulo 4).

Figura 4.15. Vista superior de la configuración de ruedas laterales (medidas en mm)



Fuente: [11]

A continuación se muestran algunos elementos que conformarán el STT:

5.3.5.1 Motor

El motor LENZE será el encargado de garantizar la movilidad y el par motor necesario para una aceleración y desaceleración del STT; El motor está conformado por un servomotor y un reductor de velocidad. [11]

Tabla 5.2. Especificaciones del Motor LENZE g700.

MOTOR LENZE g700-p800-2-MCS12D17	
Tipo de caja de cambios	P800-2
Montaje en la caja de cambios (brida)	IEC con abrazadera. Anillo central.
Tipo de motor	MCS 12D17
Tensión nominal [V]	330
Frecuencia nominal [Hz]	110
Potencia nominal [kW]	1,2

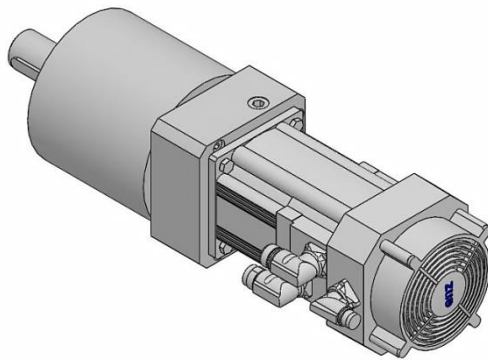
Electr. Conexión – potencia	Plug
-----------------------------	------

Continuación de la Tabla 5.2

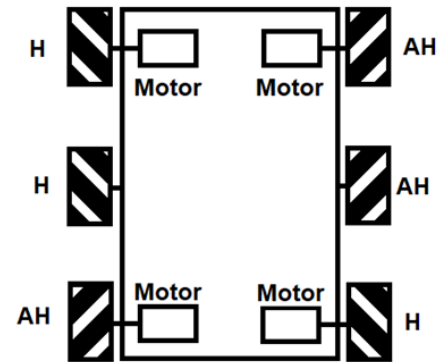
Electr. Conexión – retroalimentación	Plug
Conexión	En la posición 2
Realimentación	Resolver RS0
Versión del freno	Sin freno
Voltaje del freno	Sin freno
Par de frenado	N/A
Recinto	IP54
Enfriamiento	1~ 115 V +-10%
Longitud [mm]	565,50
Ancho [mm]	184,66
Altura [mm]	159,90

Fuente: [11]

Figura 4.16. Modelo cad y disposición del motor LENZE g700



a) motor LENZE



b) ubicación del motor en el STT

Fuente: [11]

5.3.5.2 Estructura

La estructura que soportará los componentes aeronáuticos será el bastidor tipo H, ya que posee: a) gran resistencia, b) alta durabilidad, c) fácil acceso a los

componentes mecánicos, d) no sufre daños graves en accidentes, e) modelo sencillo de diseñar y f) bajo costo de fabricación. [11]

Figura 4.17. Bastidor tipo H



Fuente: [11]

El equipo de diseño establece que el bastidor contará con cinco módulos los cuales albergarán y protegerán los diferentes sistemas operacionales. En la figura 5.7 se muestran las distribuciones que se hacen teniendo en cuenta el equilibrio de cargas, simetría y desempeño de los diferentes sistemas. [11]

Figura 4.18. Distribuciones de los sistemas operacionales en el STT.

A2	A3	A2	A3	A2	A1 Sistema de potencia
A1				A1	Ruedas Mecanum y
M1	M2	M3	M4	M5	A2 Sistema de suspensión
	A5	A4 Y A5	A5		A3 Sistema de elevación
A1				A1	A4 Sistema de control
A2	A3	A2	A3	A2	A5 Sistema de Suministro

M1 Módulo uno

M2 Módulo dos

M3 Módulo tres

M4 Módulo cuatro

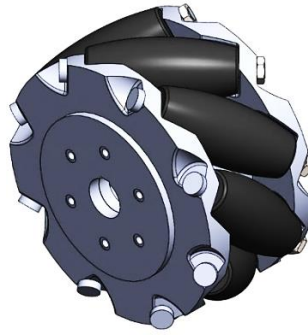
M5 Módulo cinco

Fuente: [11]

5.3.5.3 Ruedas mecanum

Las ruedas mecanum permiten al STT moverse en cualquier dirección dependiendo del sentido y velocidad angular del conjunto de ruedas. Esto es una gran ventaja frente a las demás configuraciones de ruedas normales ya que se pueden realizar varias operaciones en espacios reducidos y obstaculizados por objetos estáticos o dinámicos. [11]

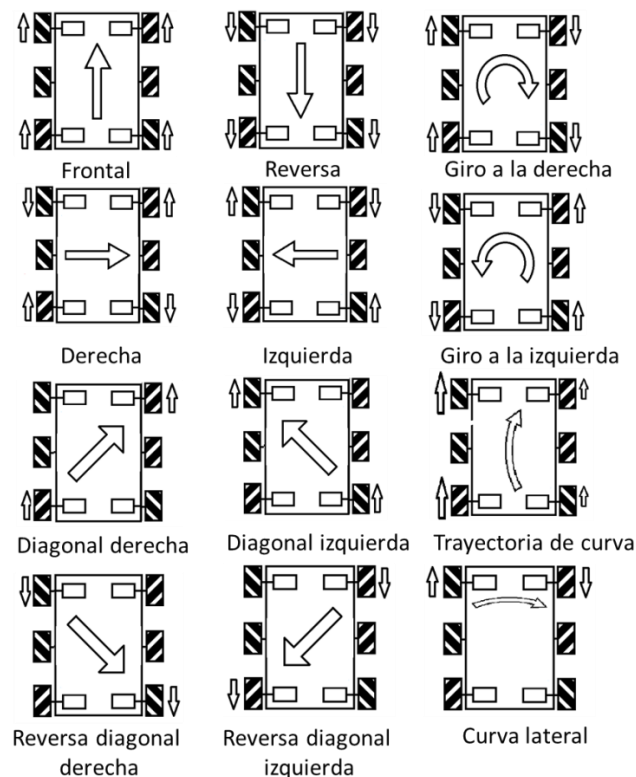
Figura 4.19. Modelo cad de las ruedas mecanum



Fuente: [11]

La configuración de ruedas lateral contará con **seis** ruedas, de las cuales se distribuirán: a) suministro de potencia (**cuatro** ruedas) y b) apoyo y soporte estructural (**dos** ruedas). [11]

Figura 4.20. Movimiento del STT con las ruedas mecanum



Fuente: [11]

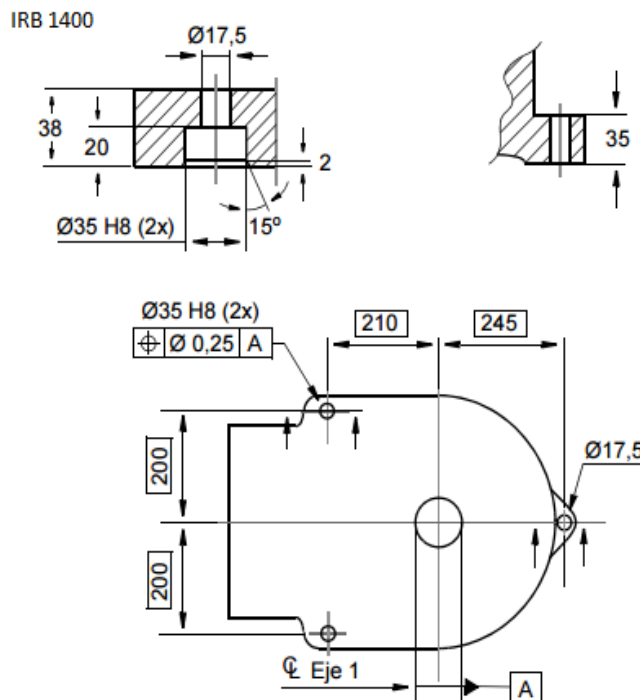
5.3.5.4 Sistema de elevación

Para el sistema de elevación, se utilizará el mecanismo de plataforma hidráulica de tijeras para facilitar la instalación de los componentes en la línea de ensamble. Este mecanismo tiene las siguientes características: a) buena estabilidad, b) trabajar en cualquier entorno, c) adaptación a las necesidades de elevación y d) gran elevación en el orden de **uno** a **dos** metros. [11]

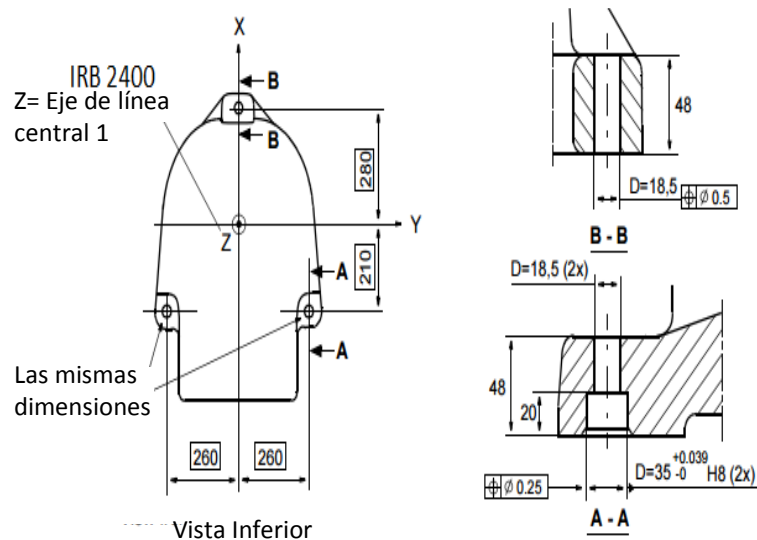
5.3.5.5 Módulos para el transporte de componentes

Para el transporte de los manipuladores se tienen en cuenta especificaciones como: a) área de trabajo y b) capacidad de carga. De acuerdo a la información obtenida en el capítulo 2, se determina que el manipulador más crítico es el IRB 2400, por consiguiente, los cálculos correspondientes a la selección del perfil y el diseño del módulo se realiza con base en los requerimientos dimensionales y físicos de manipulador. Se diseña una estructura que funcionará como base metálica y sirva de interfase de acople entre el STT y los diferentes módulos. Se utilizan los planos de montaje de cada manipulador para realizar las perforaciones en el módulo de conexión de la interfase de transporte. [11]

Figura 4.21. Planos de las perforaciones en los módulos



a) módulo para manipulador IRB 1400



b) módulo para manipulador IRB 2400

Fuente: [11]

Figura 4.22 Base metálica para el acople entre el STT y los diferentes módulos



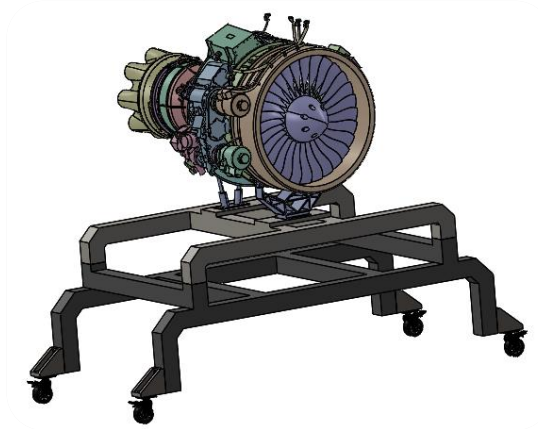
Fuente: [11]

La estructura base se diseña con **cuatro** puntos de apoyo para el acople de los diferentes módulos como: a) módulos para manipuladores, b) módulo para el turbofan, c) módulo para la nariz y d) módulo del sistema de elevación en tijera. Además, posee **cuatro** ruedas para lograr un desplazamiento libre y también para

ser usada como base para los módulos del STT. Esta estructura se adapta al chasis y cumple con la función de interfase de conexión requerida.

Para el transporte del turbofan se tienen en cuenta las especificaciones técnicas como: a) dimensiones, b) peso y c) centro de gravedad (ver capítulo 2). La distribución de carga del módulo del turbofan se realizará en **cuatro** puntos. [11]

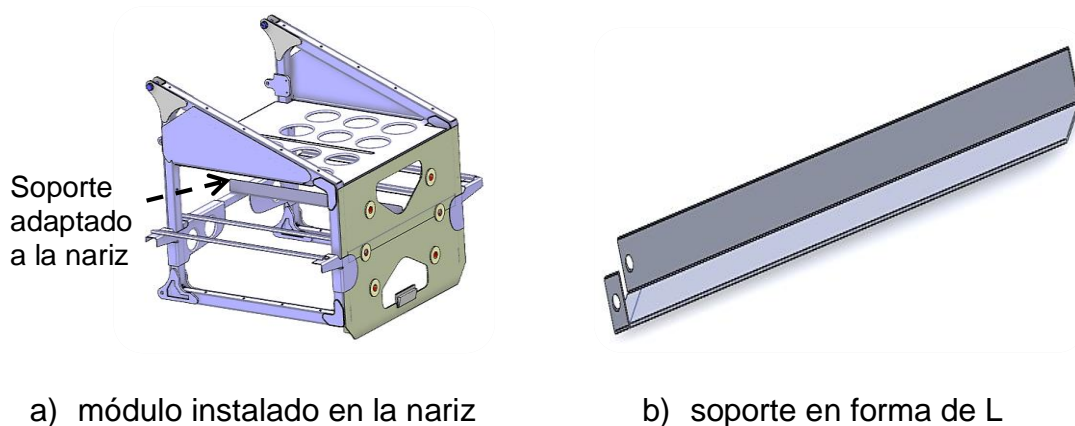
Figura 4.23 Módulo para el transporte del turbofan.



Fuente: [11]

La estructura base que se adapta al STT ha sido diseñada para transportar un máximo de dos narices de avión distribuidas de forma axial con las siguientes características: a) peso máximo de 722,673 kg, b) ancho máximo de 870 mm, c) altura máxima de 630 mm, y d) profundidad máxima de 640 mm; Para el transporte de las narices se diseñó un módulo o soporte con forma de L elaborada en chapa metálica, la cual permite un mejor agarre a la estructura base. [11]

Figura 4.24 Módulo para el transporte de la nariz



Fuente: [11]

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se logró caracterizar los elementos a transportar por la línea de ensamble, se obtuvieron dimensiones y propiedades físicas de los componentes aeronáuticos tales como los manipuladores, el turbofan y la nariz del avión. Este paso era necesario ya que proporcionó la información preliminar de las dimensiones del STT y las cargas que debía soportar.

Se definieron las especificaciones objetivo, las cuales fueron resultado de un procesamiento de datos técnicos o métricas. Estas métricas son parámetros de comparación con respecto a tecnologías que hay en el mercado y que son tendencia mundial, esto ayudó al equipo a guiarse y obtener información para la resolución de los problemas que se podrían solucionar con herramientas existentes y enfocarse en problemas críticos del STT.

Se crearon modelos conceptuales dentro de un espacio de confianza para tener todo tipo de perspectiva de cada integrante del equipo. Este proceso de reflexión y generación de ideas permitió obtener ideas y aportes significativos para solucionar problemas críticos como lo eran el sistema de potencia y las llantas del STT. Del mismo modo, se reunió información proveniente de diferentes fuentes información por medio de una investigación externa e interna y se sintetizó todo en árboles de clasificación para facilitar la selección. De este desarrollo se generaron tres alternativas viables para el STT.

Se seleccionó la configuración número uno como la más adecuada según los requerimientos exigidos por la línea de ensamble, gracias a las características que lo definen como un **diseño estable, resistente y con facilidad de mantenimiento**. La selección de este concepto se produjo gracias a que permite transportar componentes aeronáuticos de manera segura logrando que los elementos lleguen a las áreas de ensamble en perfecto estado, también, a una **buena eficiencia energética y adaptabilidad** para el transporte de otros componentes de ser necesario.

6.2. Aportes

El principal aporte de esta investigación fue generar una visión de trabajo e conjunto como mecanismo para desarrollar un concepto de transporte de componente de alta complejidad en la línea de ensamble y la aplicación de la metodología de aprendizaje basada en problemas que combina varias disciplinas, mecánica, sistemas computacionales, ingeniería aeronáutica e industrial para la gestión de proyectos.

Se propicia el desarrollo de investigaciones tecnológicas sobre el transporte de componentes en el sector aeronáutico. Con la vigilancia estratégica se tiene información actualizada del entorno industrial y académico con relación a los sistemas de transporte terrestre. Además, se presentan un conjunto de métodos para la conceptualización de diseño de un producto de forma clara y detallada, destinados a contribuir con la investigación de medios de transportes que simplifiquen las tareas en la actualidad.

Se obtuvieron diferentes alternativas para el transporte de componentes aeronáuticas formuladas mediante metodologías que fueron recopiladas en esta investigación. Adicionalmente, las alternativas planteadas pueden ser aplicadas en otros lugares con características similares.

6.3. Recomendaciones

El concepto seleccionado puede ser un punto de partida para nuevas e interesantes investigaciones por lo que se recomienda seguir con un estudio más complejo.

La metodología, conceptos e información adquirida con el proyecto, es una formación transversal que complementa el desarrollo de todo ingeniero mecánico. La competencia en cuanto a convertir necesidades en especificaciones es muy importante, por lo tanto, se recomienda que este contenido sea tenido en cuenta en una asignatura o que se incorpore esta serie de conceptos dentro de una materia asociada a la línea de sólidos, manufactura, o diseño. Además, fomenta el trabajo en equipo, puesto que es una actividad que integra diferentes líneas de conocimiento.

La vigilancia estratégica es un proceso permanente, por ende se recomienda hacer una revisión periódica de: tecnologías emergentes, metodologías, técnicas innovadoras asociadas al sistema de transporte terrestre, ya que se pueden encontrar mejoras significativas dentro del proceso. El manejo de las palabras claves “keywords” es un aspecto relevante ya que si no se tienen claras o no se tiene un vocabulario genérico se limita el campo

investigativo, por lo que es recomendable definir de manera adecuada las palabras claves en la búsqueda, lo que aumentará las posibilidades de filtrar mejor la información.

Incorporar dentro de la metodología aspectos tales como: validación virtual o modelos del prototipo virtuales, por lo que es conveniente explorar dentro de los conceptos y contemplar otras técnicas para la generación de conceptos, ya que la metodología que se muestra en el presente trabajo, es una de las muchas que existen. Al generar prototipos virtuales se pueden hacer verificaciones preliminares de algunas especificaciones definidas en las etapas tempranas del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] C. O. Iván, “Una introducción a la Robótica Industrial,” *ciencia e ingeniería neogranadina*, vol. 8. p. 14, 1999.
- [2] A. A. Lansing and M. Stick, “Especificaciones del producto,” *Development*, vol. 2010, pp. 2010–2011, 2010.
- [3] “Falcon 2000S.” [Online]. Available: <https://www.dassaultfalcon.com/en/Aircraft/Models/2000S/Pages/overview.aspx>. [Accessed: 29-Nov-2017].
- [4] “Factory Futures | Factory Futures, worldwide students imagine the Industry of the future.” [Online]. Available: <http://factory-futures.univ-lorraine.fr/>. [Accessed: 29-Nov-2017].
- [5] “FALCON 2000 PILOT TRAINING MANUAL FlightSafety international.”
- [6] “Process flow management | Factory Futures.” [Online]. Available: <http://factory-futures.univ-lorraine.fr/process-flow-management/>. [Accessed: 29-Nov-2017].
- [7] et al. España, Gobierno de, “024_Libro blanco de la Robótica,” p. 215, 2008.
- [8] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de producto: Enfoque multidisciplinario*. McGraw-Hill, 2004.
- [9] “Guía practica vigilancia tecnologica para la innovación,” *Red tecnoparque nodo Pereira*, 2015.
- [10] “Página web | KUKA AG.” [Online]. Available: <https://www.kuka.com/#>. [Accessed: 29-Nov-2017].
- [11] “Collaborative mechanical design | Factory Futures.” [Online]. Available: <http://factory-futures.univ-lorraine.fr/collaborative-mechanical-design/>. [Accessed: 29-Nov-2017].
- [12] Florentina and I. Doroftei, “Practical Applications for Mobile Robots based on Mecanum Wheels - a Systematic Survey,” *Proc. Int. Conf. Innov. Recent Trends Challenges Mechatronics, Mech. Eng. New High-Tech Prod. Dev. – MECAHITECH’11*, vol. 3, no. 40, pp. 112–123, 2011.
- [13] A. Milton and P. Rodgers, *Métodos de investigación para el diseño de producto*. Blume, 2013.

- [14] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K.-H. Grote, "Conceptual Design," in *Engineering Design*, London: Springer London, 2007, pp. 159–225.
- [15] A. D. (Arthur D. Hall, *Metasystems methodology: a new synthesis and unification*. Pergamon Press, 1989.
- [16] A. Gómez, J. Ríos, F. Mas, and A. Vizán, "Method and software application to assist in the conceptual design of aircraft final assembly lines," *J. Manuf. Syst.*, vol. 40, pp. 37–53, Jul. 2016.
- [17] V. Hubka and W. E. Eder, *Theory of Technical Systems: a Total Concept Theory for Engineering Design*. Springer Berlin Heidelberg, 1988.
- [18] V. Hubka and W. E. Eder, "Applications of the Theory of Technical Systems," in *Theory of Technical Systems*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988, pp. 211–232.
- [19] E. von. Hippel, *The sources of innovation*. Oxford University Press, 1988.
- [20] A. B. VanGundy, *Techniques of structured problem solving*. Van Nostrand Reinhold Co, 1988.
- [21] R. Von Oech and G. Willett, *A whack on the side of the head: how you can be more creative*. Grand Central, 2008.
- [22] C. Terwiesch and K. T. Ulrich, *Innovation tournaments: creating and selecting exceptional opportunities*. Harvard Business Press, 2009.
- [23] R. H. McKim, *Experiences in visual thinking*. Brooks/Cole Pub. Co, 1980.
- [24] J. Goldenberg and D. Mazursky, *Creativity in product innovation*. Cambridge University Press, 2002.
- [25] G. S. (Genrikh S. Al'tshuller, L. Shulyak, and S. Rodman, *40 principles: TRIZ keys to innovation*. Technical Innovation Center, 1997.
- [26] J. Terninko, A. Zusman, and B. Zlotin, *Systematic innovation: an introduction to TRIZ; (theory of inventive problem solving)*. St. Lucie Press, 1998.
- [27] T. Baumeister, A. M. Sadegh, and E. A. Avallone, *Marks' standard handbook for mechanical engineers*. .
- [28] W. E. Souder, "Managing relations between R&D and marketing in new product development projects," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 5, no. 1, pp. 6–19, Mar. 1988.

- [29] R. L. Keeney and H. Raiffa, *Decisions with multiple objectives : preferences and value tradeoffs*. Cambridge University Press, 1993.
- [30] S. Pugh, *Total design : integrated methods for successful product engineering*. Addison-Wesley Pub. Co, 1990.
- [31] C. H. Kepner, B. B. Tregoe, and P. Stryker, *The rational manager: a systematic approach to problem solving and decision making*. McGraw-Hill, 1965.
- [32] G. L. Urban and J. R. Hauser, *Design and marketing of new products*. Prentice Hall, 1993.
- [33] K. N. Otto, K. N. Otto, A. Professor, K. L. Wood, and A. Professor, "Estimating Errors in Concept Selection," *Des. Eng. Tech. Conf.*, vol. 2, pp. 397--411, 1995.
- [34] M. W. (Mark W. Maier and E. Rechtin, *The art of systems architecting*. CRC Press, 2009.
- [35] D. A. Aaker, *Marketing research*. John Wiley & Sons, 2013.
- [36] R. Ramaswamy and K. Ulrich, "Augmenting the house of quality with engineering models," *Res. Eng. Des.*, vol. 5, no. 2, pp. 70–79, Jun. 1993.
- [37] D. J. Hatley and I. A. Pirbhai, *Strategies for real-time system specification*. Dorset House Pub, 1988.
- [38] *Conjoint Analysis: A Guide for Designing & Interpreting Conjoint Studies - Google Books*. .
- [39] B. J. Pine, *Mass customization : the new frontier in business competition*. Harvard Business School, 1999.
- [40] K. B. Clark and T. Fujimoto, *Product development performance : strategy, organization, and management in the world auto industry*. Harvard Business School Press, 1991.
- [41] K. Ulrich, "The role of product architecture in the manufacturing firm," *Res. Policy*, vol. 24, no. 3, pp. 419–440, May 1995.
- [42] C. Alexander, *Notes on the synthesis of form*. Harvard University Press, 1964.
- [43] H. A. (Herbert A. Simon, *The sciences of the artificial*. MIT Press, 1996.

- [44] W. Olins, *Corporate identity : making business strategy visible through design*. Harvard Business School Press, 1990.
- [45] T. Bhamra and V. Lofthouse, *Design for sustainability : a practical approach*. Gower, 2007.
- [46] J. R. Fiksel, *Design for environment : a guide to sustainable product development*. McGraw-Hill, 2009.
- [47] H. Lewis, J. Gertsakis, T. Grant, N. Morelli, and A. Sweatman, *Design + environment : a global guide to designing greener goods*. Greenleaf Pub, 2001.
- [48] W. McDonough and M. Braungart, *Cradle to cradle : remaking the way we make things*. North Point Press, 2002.
- [49] E. Holden, K. Linnerud, and D. Banister, "Sustainable development: Our Common Future revisited," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 26, pp. 130–139, May 2014.
- [50] H. Brezet, C. van. Hemel, UNEP IE Cleaner Production Network., Rathenau Instituut., and Technische Universiteit Delft., *Ecodesign : a promising approach to sustainable production and consumption*. United Nations Environment Programme, Industry and Environment, Cleaner Production, 1997.

ANEXOS

Anexo A

ENCUESTA PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE (STT)

Para cada una de las siguientes necesidades para el STT, por favor indique en una escala de 1 a 5 qué tan importante es esa función para usted. Por favor use la siguiente escala (Marca solo un óvalo):

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función.

Necesidades	1	2	3	4	5
Tiempo de operación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexibilidad en la trayectoria	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidad de elevación complementaria	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Adaptable a mejoras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema Robusto pero funcional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manejo autónomo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Larga vida útil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fácil acceso para mantenimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Disponibilidad de un sistema de suspensión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidad para transportar dispositivos, elementos y/o componentes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¡Muchas gracias por su participación!

Anexo B

MATRIZ DE NECESIDADES-MÉTRICAS

NECESIDAD		MÉTRICA																											
1	Eficiencia energética	*	*	*																									
2	Flexibilidad en la trayectoria				*	*	*	*	*	*	*	*																	
3	Capacidad de elevación complementaria												*	*	*														
4	Adaptable a mejoras															*	*												
5	Sistema Robusto pero funcional																	*	*	*									
6	Manejo autónomo																				*								
7	Larga vida útil																					*	*						
8	Fácil acceso para mantenimiento																								*				
9	Disponer de un sistema de suspensión																									*	*		
10	Capacidad para transportar componentes				*	*							*														*	*	

